



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES

MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL

Aspectos técnicos dos extremos geo-hidrológicos no país e as diferenças regionais

Aspectos técnicos dos extremos geo-hidroológicos no país e as diferenças regionais

São José dos Campos
2022

Ficha Institucional

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidente da República

Jair Messias Bolsonaro

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL - MDR

Ministro

Daniel de Oliveira Duarte Ferreira

SECRETARIA NACIONAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL – SEDEC

Secretário

Alexandre Lucas Alves

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS - CEMADEN

OSVALDO LUIZ LEAL DE MORAES – **Diretor**

JOSÉ ANTÔNIO MARENGO ORSINI – **Coordenador-Geral de Pesquisa e Desenvolvimento**

MARCELO ENRIQUE SELUCHI – **Coordenador-Geral de Operações e Modelagens**

REGINA CÉLIA DOS SANTOS ALVALÁ – **Coordenadora de Relações Institucionais**

WESLEY BARBOSA – **Coordenador de Administração**

Ficha Técnica

Coordenação do Projeto: Osvaldo Luiz Leal de Moraes

Supervisor do Projeto: Wesley Barbosa

ASPECTOS TÉCNICOS DOS EXTREMOS GEO-HIDROLÓGICOS NO PAÍS E AS DIFERENÇAS REGIONAIS

Alex Ovando

Carla Corrêa Prieto

Diego Souza

Graziela Balda Scofield

Leandro Casagrande

Marcelo Seluch

Tulius Dias Nery

REVISÃO TÉCNICA

Leandro Casagrande

Pedro Ivo Camarinha

Rafael Alexandre Ferreira Luiz

Tiago Bernardes

DESIGNER INSTRUCIONAL

Ednei Augusto Januário

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Aline Ferreira dos Santos

Ana Elisa Pereira da Cunha Nogueira

Camila Maria do Prado Santos

Lucas Fernandes Cantisani

EDIÇÃO E REVISÃO

Aline Ferreira dos Santos

Mayara Crispim Freitas Sá

Sumário

Módulo 1	12
Conceitos básicos do ciclo hidrológico	13
Introdução	13
O que são eventos Geo-Hidrológicos?	14
Relação do ciclo hidrológico com as inundações, enxurradas e deslizamentos no Brasil	15
Principais processos do ciclo hidrológico.....	16
Sobre o que é Precipitação	16
Evapotranspiração	19
Processos de condensação, infiltração e escoamento	20
Impactos Geo-hidrológicos nas cidades	22

Módulo 2

Componentes de tempo e clima

Módulo 2	26
Tempo e Clima	27
Sistemas meteorológicos	29
Frentes frias.....	29
Frentes estacionárias e quentes	30
Ciclones	31
Anticiclones	33
A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)	34
Tempestades e sistemas meteorológicos de escala menor	36
Fenômenos climáticos.....	37

Medição da Precipitação.....	39
Sistemas para medição da precipitação	40
Pluviômetros.....	40
Satélites meteorológicos	43
Utilização de imagens de satélite no monitoramento.....	46
Identificação de sistemas meteorológicos potencialmente severos	50
Sistemas frontais.....	50
Ciclones	53
Linhas de instabilidade, complexos convectivos, supercélulas e “ondas de leste”	54
Radar meteorológico.....	58
Limitações.....	60
Utilização do radar para o monitoramento meteorológico.....	62
Tempestades isoladas	63
Supercélulas	64
Sistemas convectivos de mesoescala	65
Descargas Elétricas Atmosféricas	66
Modelos de previsão numérica de Tempo e Clima.....	67
Ferramentas básicas para o monitoramento meteorológico.....	71
Imagens de satélite:.....	72
Imagens de radar.....	72
Modelos numéricos.....	72
Observação direta das nuvens	73

Módulo 3

Extremos geo-hidrológicos

Módulo 3.....	76
----------------------	-----------

Construção de limiares para eventos geo-hidrológicos	77
Conceito de extremos geo-hidrológicos sob o ponto de vista de limiares e volumes de precipitação	77
Banco de dados de ocorrência e a sua importância na construção de um sistema de monitoramento e alerta.....	78
Precipitação: intensidade, duração e frequência	80

Módulo 4

A dinâmica das bacias hidrográficas

Módulo 4.....	84
Introdução e conceitos.....	85
Características físicas das bacias hidrográficas.....	86
Influência das características físicas das bacias hidrográficas no comportamento do escoamento de rios e canais	86
Hidrograma e Hietograma.....	92
Fatores que incluem a formação das inundações e enxurrada.....	96
Abordagem sobre a expansão das áreas construídas sobre locais de planícies de inundação	96
Impactos da impermeabilização extensiva nas grandes cidades	98
Desmatamento	99
Barramentos, estrangulamentos de canal.....	100
Despejo de resíduos sólidos urbanos	100
O impacto das marés e efeitos de remanso em rios e afluentes	101
Conceituação dos efeitos das marés e de remansos em rios e canais	101
Medidas de mitigação de inundações e enxurradas	103
Discussão das medidas estruturais tradicionalmente utilizadas para a redução dos impactos de inundações e enxurradas e boas práticas associadas às medidas	

estruturais	103
Medidas não estruturais de mitigação	104

Módulo 5

Previsão de eventos hidrológicos

Módulo 5.....	107
Ferramentas para previsão de inundações e enxurradas	108
Descrição das principais ferramentas utilizadas na previsão de eventos hidrológicos.....	109
Modelos hidrológicos podem ser:.....	114
Discussão das limitações de cada ferramenta	118
Modelos hidrológicos associados a produtos de previsão meteorológica	118
Mapeamento de risco de inundações para fins de monitoramento e envio de alertas para a população	120

Módulo 6

Processos de movimento de massa

Módulo 6.....	125
Conceituação teórica e classificação dos processos de movimentos de massa....	126
Introdução	126
O que são os processos de movimentos de massa	126
Classificação dos processos de movimentos de massa segundo a COBRADE	128
Agentes deflagradores	137
Influência do solo, da forma do relevo e a atuação da água no solo	137
Influência da chuva, sua infiltração ou escoamento superficial e as influências humanas na ocupação do terreno	139
Os movimentos de massa nas cidades.....	140

A urbanização e o risco de movimentos de massa	140
Os riscos do corte e aterro sem contenção das encostas	141
Mapeamento de risco	144
Monitoramento e alerta	147
Ferramentas utilizadas para o monitoramento: pluviômetros, radares meteorológicos, satélite meteorológico, modelos de previsão do tempo	147
Plataformas de monitoramento e plataforma de envio de alertas	149
Formulários de ocorrência	150
Previsão de risco geológico	151
Análise do cenário de risco para o envio de alertas	151
Importância do preenchimento do formulário de ocorrência para a decisão de futuros alertas	153
Projeto GIDES – eixo Monitoramento e Alerta: aprendizados	154

Módulo 7

Limiares

Módulo 7	158
Banco de dados de ocorrências	159
Concepção e construção do banco de dados de ocorrências para registros de eventos geodinâmicos.	159
Como devem ser utilizados os bancos de ocorrências	161
Correlação chuva X deslizamento	164
Construção, elaboração e proposição de limiares e seus respectivos níveis operacionais	164

Módulo 8

Diferenças regionais dos eventos geo-hidrológicos

Módulo 8.....	170
Componentes regionais da precipitação	171
Cenário das inundações e enxurradas e alagamentos no Brasil.....	174
Regionalização dos processos de movimentos de massa no Brasil.....	178
Referências bibliográficas.....	183

**Aspectos técnicos dos extremos geo-hidrológicos
no país e as diferenças regionais**

1

**O ciclo hidrológico e seus
impactos nas cidades**

Conceitos básicos do ciclo hidrológico

Introdução

O ciclo hidrológico, ou ciclo da água, é o termo usado para descrever a circulação da água no planeta. Impulsionada pela energia do sol, a água sofre transformações físicas (sólido, líquido e gasoso) circulando no meio terrestre, aquático e atmosférico. A precipitação cai sobre a cobertura do solo, escorre pelos rios, chega até os oceanos e evapora formando as nuvens, que dão início a precipitação novamente.



Figura 1 : O Ciclo Hidrológico. Fonte: elaboração própria.

As várias etapas do ciclo hidrológico são estudadas em inúmeras áreas do conhecimento como engenharia, agronomia, meteorologia, geografia, biologia, entre outros. Cada uma delas com uma visão diferente, de acordo com o campo de atuação profissional. Sendo assim, nas ciências relacionadas aos desastres, algumas etapas deste ciclo são muito relevantes e serão estudadas mais profundamente nos capítulos específicos.

O que são eventos Geo-Hidrológicos?

O termo geo-hidrológico é utilizado para indicar eventos tanto de origem geodinâmica (movimentos de massa como: os deslizamentos, fluxos de detrito, queda e rolamentos de blocos), quanto os eventos de origem hidrológica (inundações, enxurradas, alagamentos e secas).

Ressalta-se que, os eventos geo-hidrológicos referem-se apenas aos tipos de eventos supracitados, ao passo que o termo desastres, é mais abrangente, incluindo, por exemplo, impactos causados por fogo, geadas, terremotos, vendavais, tornados, etc.

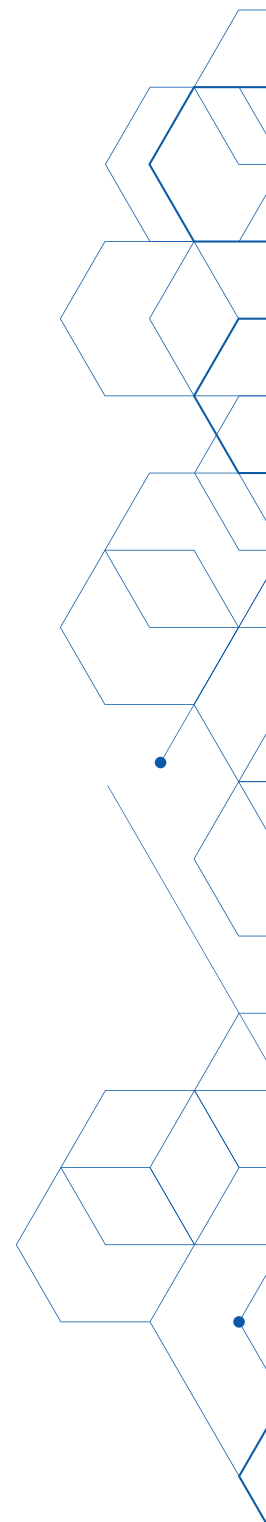
Cabe lembrar que os eventos geo-hidrológicos são processos naturais, e a presença do homem nos locais susceptíveis ou até mesmo a ação do homem sobre o ambiente é o que torna estes processos capazes de causar danos materiais e humanos. Desastres relacionados aos períodos de déficit hídrico regional, chamados de “Secas”, apesar de estarem diretamente relacionados aos eventos de origem hidrológica, não serão abordados neste curso.

Relação do ciclo hidrológico com as inundações, enxurradas e deslizamentos no Brasil

Podemos perceber que as etapas do ciclo hidrológico envolvem a superfície, os oceanos e a atmosfera terrestre. Já os eventos geo-hidrológicos acontecem em determinadas partes da superfície terrestre, e são potencialmente causadores de impactos quando associados à presença do homem. Aproximadamente 85% da população brasileira vive em meio urbano (PNAD 2015) e, por questões históricas, muitas das grandes cidades encontram-se próximas à faixa litorânea do oceano Atlântico. A figura 2 apresenta uma foto do Brasil à noite obtida por imagem de satélite, evidenciando, pela presença de iluminação pública, a grande ocupação urbana na faixa próxima ao litoral brasileiro.



Figura 2 : Imagem do Brasil à noite. Fonte: Adaptado de NASA-NOAA.



Os eventos meteorológicos que atuam em toda a faixa litorânea de norte a sul do país são os que impactam a maior parte da população brasileira. Ao estudarmos os problemas relacionados aos eventos geo-hidrológicos de cada parte do litoral, algumas etapas do ciclo hidrológico têm maior importância do que outras em função da diversidade das características de formação do relevo (geomorfologia).

O interior do país também é bastante diverso em termos de geomorfologia, sendo assim, a percepção da população com relação aos eventos geo-hidrológicos (inundações, enxurradas e deslizamentos), costuma ter um caráter regional, variando de municípios ou comunidades que convivem com estes problemas no seu cotidiano, até locais onde muitos moradores só têm conhecimento sobre estes temas através de notícias externas.

Principais processos do ciclo hidrológico

Sobre o que é Precipitação

A precipitação é a água que se forma na atmosfera e cai de volta para a superfície da Terra (tanto no solo ou sobre os rios e oceanos), seja em forma líquida (de gotas de água) ou água congelada (neve e granizo), em sua forma líquida é chamada de chuva. A precipitação forma-se nas nuvens quando o vapor de água se condensa em gotas cada vez maiores.

Quando as gotas são pesadas o suficiente, elas caem na superfície da Terra. A precipitação é uma das três partes principais do ciclo global da água, junto com a evaporação e condensação. Em função do processo que a origina, a chuva pode ser de tipo frontal, convectiva e orográfica.



Chuvas frontais

As chuvas frontais ocorrem na zona de contato entre as massas de ar quente e fria. São típicas de zonas de clima subtropical no Brasil, e têm como principais características:

- » Longa duração (horas e dias);
- » Atingem grandes áreas ao mesmo tempo;
- » Intensidade relativamente baixa;
- » Chuva acumulada total pode ser elevada;
- » Causam cheias em bacias grandes.

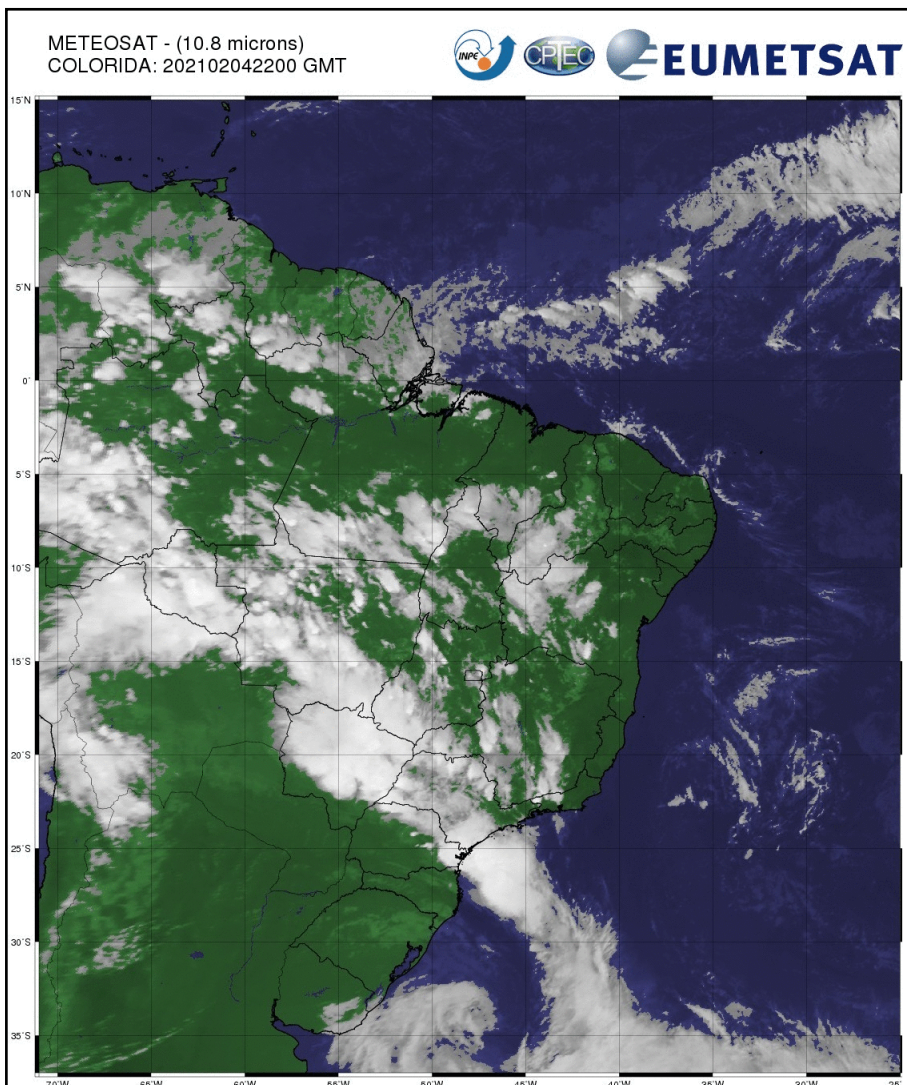


Figura 3: Imagem do avanço de uma frente fria sobre o sul do país. Fonte: INPE.

Chuvvas Convectivas

São conhecidas também como chuvas de verão, ocorrendo em várias regiões do Brasil. A convecção ocorre quando a superfície da Terra, especialmente em uma atmosfera condicionalmente instável ou úmida, torna-se mais aquecida do que seus arredores e, por sua vez, leva a uma evaporação significativa. Nuvens com grande desenvolvimento vertical costumam ser de origem convectiva, e a maior parte das chuvas nos trópicos tem sua origem nos processos de convecção.



Figura 4: Foto de chuva convectiva. Fonte: acervo Leandro Casagrande.

As chuvas convectivas têm como principais características:

- » Curta duração (minutos ou poucas horas);
- » Atingem áreas específicas;
- » Mais comuns no verão, com predominância no período da tarde e início da noite;
- » Podem ser de intensidade alta;
- » Causam enxurradas, alagamentos urbanos e inundações bruscas em pequenas bacias.



Chuvvas Orográficas

As chuvas orográficas ou de relevo são causadas quando as massas de ar são forçadas a subir ao lado de formações de terra elevadas, como grandes montanhas. Ocorrem em regiões montanhosas sujeitas a ventos relativamente consistentes (por exemplo, os ventos alísios). As chuvas orográficas têm como principais características:

- » Ocorre em regiões com vento predominante que sopra em direção de grandes montanhas (Exemplo Serra do Mar, Serra da Mantiqueira);
- » Duração e intensidade variável;
- » Ocorrem sempre na mesma região.

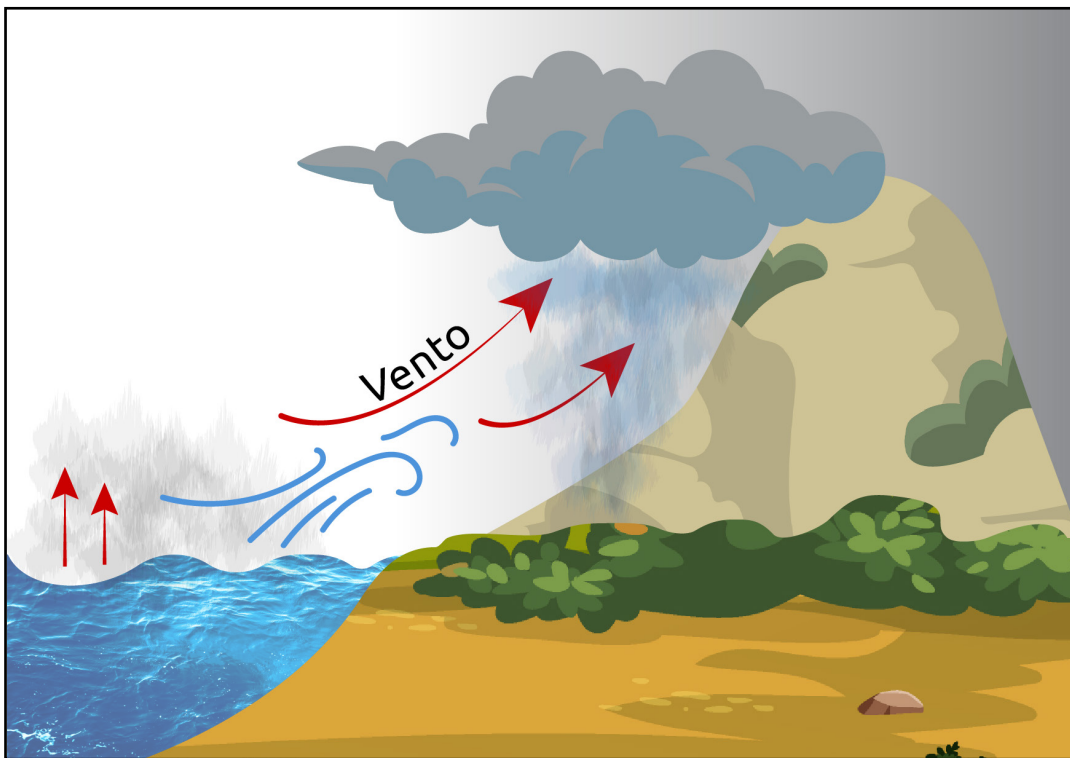


Figura 5: Representação de chuva orográfica. Fonte: Elaboração própria.

Evapotranspiração

Evapotranspiração é a soma do processo de evaporação que ocorre quando a luz solar aquece as superfícies de água livre (rios, lagos, repre-

sas, oceanos, etc..) ou superfícies úmidas (solo úmido ou vegetação molhada), juntamente com o processo de transpiração das plantas. As plantas liberam vapor de água através de poros microscópicos chamados **estômatos**. A evapotranspiração representa o retorno da água precipitada na superfície terrestre para a atmosfera novamente.

Estômatos são estruturas presentes nas plantas que garantem a realização de trocas gasosas.



Figura 6: Exemplo de evapotranspiração. Fonte: Aegro.

Processos de condensação, infiltração e escoamento

A condensação é o processo em que o vapor d'água se torna líquido, é o reverso da evaporação. A condensação ocorre de duas maneiras: ou o ar é resfriado até seu ponto de orvalho ou fica tão saturado com vapor de água que não consegue reter mais água.

O ponto de orvalho é a temperatura na qual ocorre a condensação. (O orvalho é simplesmente água condensada na atmosfera). A temperatura do ar

pode atingir ou cair abaixo do ponto de orvalho naturalmente, como costuma acontecer à noite. É por isso que gramados, carros e casas costumam ficar cobertos de gotículas de água pela manhã. As nuvens são formadas por gotículas pequenas de água condensada.

A infiltração é o processo pelo qual a água na superfície do solo é absorvida para as camadas inferiores. É comumente usado em hidrologia e ciências do solo. A capacidade de infiltração depende do tipo de solo e da sua cobertura vegetal. Solos mais arenosos tendem a infiltrar mais água do que solos argilosos. Áreas com pavimentação e construções urbanas perdem a capacidade de infiltração de água na sua superfície, por este motivo, é importante a manutenção de áreas verdes nas cidades.

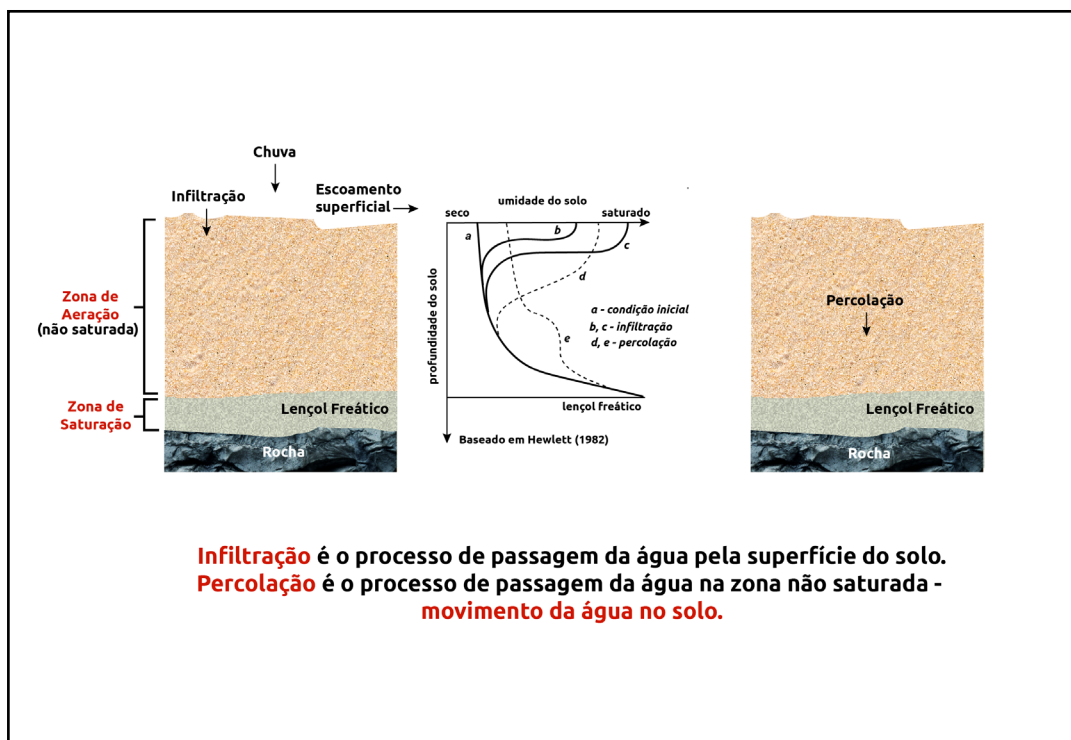


Figura 7: Infiltração. Fonte: Rennó, 2018.

O escoamento ocorre quando o excesso de água extrapola a capacidade de infiltração do solo. Quando o escoamento ocorre sobre o solo, pode causar erosão e parte do material é transportado para áreas mais baixas. O excesso de líquido flui pela superfície do solo e alimenta a vazão de cheia dos córregos e rios. Fatores que influenciam o escoamento:

Climáticos : Intensidade das chuvas; duração das chuvas; umidade antecedente do solo.

Fisiográficos: Área da bacia hidrográfica; a forma da bacia hidrográfica; a declividade da bacia hidrográfica e a permeabilidade do solo.

Uso da terra: Cobertura vegetal e superfícies impermeáveis.

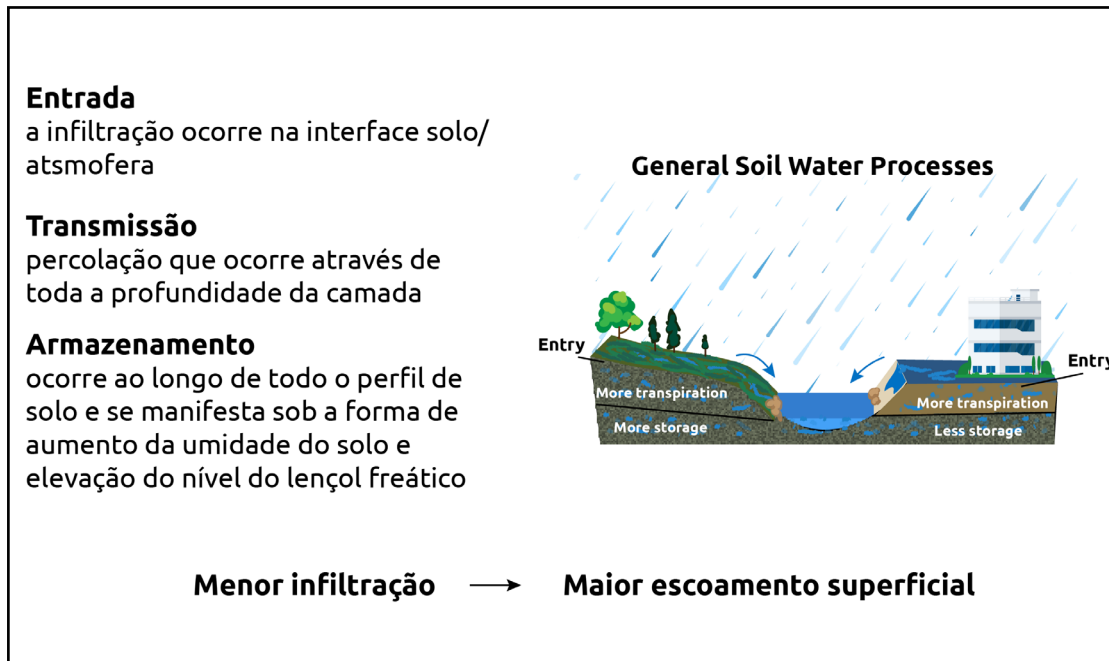


Figura 8: Processos envolvidos na Infiltração do solo. Fonte: Rennó e Borma, 2017.

Impactos Geo-hidrológicos nas cidades

Com o aumento da população urbana e o conseqüente crescimento desordenado das cidades, áreas naturalmente suscetíveis são ocupadas, em grande parte, por população de baixa renda. Estas áreas são evitadas pela população com melhor poder aquisitivo ou quando a ocupam investem em sistema de contenção da encosta e/ou fundação das edificações. Há então a valoração maior pelas áreas com melhor aptidão de ocupação, restando à população de baixa renda as áreas mais íngremes, as planícies de inundação ou até mesmo margens de rios e córregos. Estas áreas são densamente ocupadas, formando os aglomerados subnormais.

Além disso, com o aumento das áreas construídas e superfícies pavimentadas, e também da diminuição das áreas verdes, há uma redução da capacidade de infiltração do solo, aumentando a quantidade de água da chuva lançada nas redes de drenagem. Desta forma, as redes de drenagem acabam subdimensionadas e conseqüentemente as águas acabam extrapolando os canais com muito mais frequência, gerando inundações e alagamentos em ruas e avenidas.


Outro ponto importante é que a água chega mais rápido ao rio, extrapolando os limites dos canais com mais frequência, ou seja, aumento da mancha de inundação. Na tentativa de amenizar de forma estrutural estes problemas, muitos rios e córregos são retificados e canalizados para facilitar o escoamento da água.

Em canais retificados, a água escoar com maior facilidade e pode até resolver inundações pontuais das cidades, no entanto, este tipo de intervenção às vezes acaba transferindo o problema para locais **mais a jusante**. Outro problema recorrente é o lixo que é descartado nas ruas, em encostas e nas beiras de rios, e que quando chove é arrastado para os bueiros, diminuindo o fluxo de entrada e causando alagamentos.

Existem vários termos associados à inundações que são: cheia, enchente, enxurrada, inundação gradual, inundação brusca, alagamentos, inundações ribeirinhas, inundações urbanas, enchentes repentinas entre outros. No Brasil, os desastres são classificados.

Para o Grupo Hidrologia, existem 3 subgrupos que segundo a Codificação Brasileira de Desastres COBRADE (2013) são:

Inundações: submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas. O transbordamento ocorre de modo gradual, geralmente, ocasionado por chuvas prolongadas em áreas de planície.



Em hidráulica, tudo o que está abaixo de um dado ponto de referência, ao longo de um curso d'água, até a sua foz, diz-se que se situa a jusante

Enxurradas: escoamento superficial de alta velocidade e energia provocado por chuvas intensas e concentradas, normalmente, em pequenas bacias de relevo acidentado. Caracterizada pela elevação súbita das vazões de determinada drenagem e transbordamento brusco da calha fluvial. Apresenta grande poder destrutivo.

Alagamentos: extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e consequente acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas.

O quadro abaixo mostra as principais características das inundações e enxurradas.

Inundação	Enxurrada
Grandes bacias- extensas áreas adjacentes ao rio	Bacias pequenas - áreas menores
Enchentes e vazante lentas	Enchentes e vazantes rápidas
Sazonais	Qualquer época do ano
Alertas emitidos com muita antecedência	Alertas emitidos com pouco tempo de antecedência
Grandes danos totais	Danos proporcionais maiores
Chuvas de longa duração	Chuvas convectivas

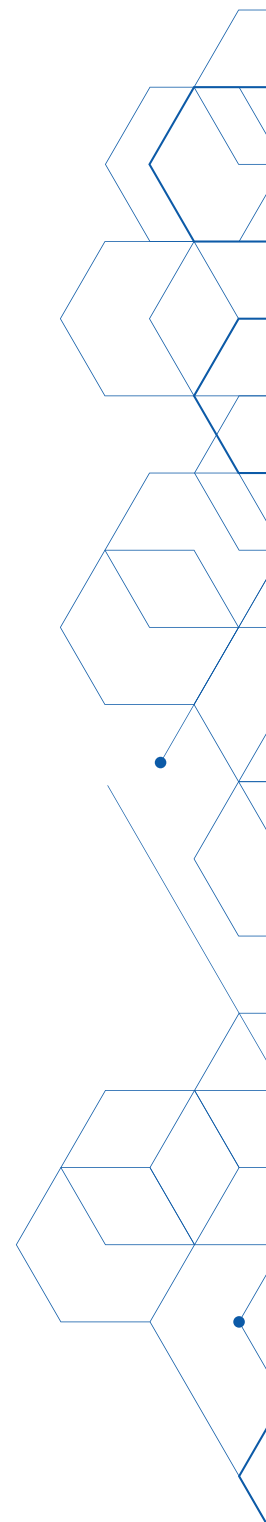
Quadro 1: Principais diferenças das inundações e enxurradas. Fonte: Adaptada de Kobiyama, 2014.

Com relação aos eventos relacionados aos movimentos de massa, a expansão urbana sobre áreas suscetíveis também vem crescendo nas últimas décadas, acelerada por uma série de fatores que vão desde problemas com mobilidade urbana, dificuldade de acesso às áreas mais nobres pela população mais pobre, negligência do poder público, entre outros.

No caso dos eventos relacionados à geodinâmica, a Codificação Brasileira de Desastres COBRADE (2013) define que existem 2 subgrupos importantes:

Movimentos de massa: são classificados desta forma quando ocorrem quedas, tombamentos e rolamentos de materiais rochosos diversos (blocos, lascas, matacões ou lages), deslizamentos de solo e/ou rocha, corridas de massa (solo/lama ou rocha/detritos) ou subsidências e colapsos (afundamento rápido ou gradual do terreno devido ao colapso de cavidades).

Erosão: processo de desgaste que pode ocorrer ao longo da região costeira (erosão costeira ou marinha), ao longo das encostas dos rios (erosão de margem fluvial) ou sobre o solo (erosão continental, causada pela remoção de uma camada delgada e uniforme do solo superficial provocada por fluxo hídrico não concentrado).



Aspectos técnicos dos extremos geo-hidrológicos no país e as diferenças regionais

2



**Componentes de
tempo e clima**

Tempo e Clima

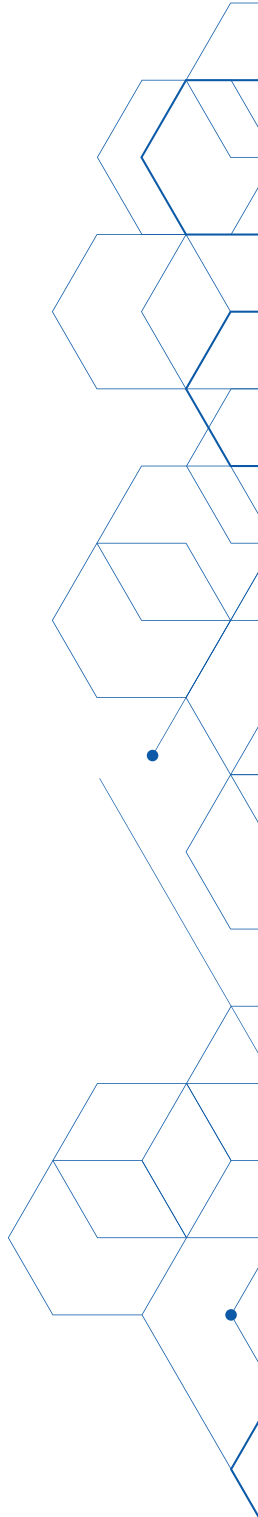
O “Tempo” atmosférico se refere às condições meteorológicas de curto prazo, na escala de horas ou dias. Por exemplo, o tempo pode estar ensolarado ou chuvoso.



Figura 9: tempo ensolarado.
Fonte Freepik.



Figuras10: tempo chuvoso.
Fonte Freepik.



Já o “Clima” representa as condições em uma escala temporal maior, no mínimo de semanas ou meses: o clima é o que caracteriza, em média, uma região .



Figura 11: Em florestas tropicais o clima costuma ser quente e úmido. Fonte: Freepik.



Figura 12: O clima dos desertos envolve os tipos árido e semiárido, sendo a escassez de chuvas a sua principal característica climática. Fonte: Freepik.

Por exemplo, o clima na Região Norte do Brasil é quente e úmido. Já na Região Sul é quente no verão e frio no inverno. Portanto, é errado dizer “hoje, o clima está frio”; o correto é : “hoje, o tempo está frio”. Também é correto dizer “apesar do clima frio no inverno, hoje, o tempo está quente”. Os sistemas meteorológicos que provocam variações nas condições do tempo são muito variados e, dependendo de seu tipo, sua atuação é mais frequente em algumas regiões do que em outras.



Sistemas meteorológicos

Frentes frias

As frentes frias são áreas relativamente alongadas que atuam como uma divisa entre massas de ar de características diferentes, normalmente uma mais quente ao norte e outra mais fria ao sul. Nas frentes frias meteorológicas o ar frio é mais denso e pesado, e o ar quente é mais leve e úmido. Por ser mais leve, esse ar quente nas proximidades da frente tende a subir, carregando a umidade para os altos níveis da atmosfera, razão pela qual as frentes normalmente estão acompanhadas de muita nebulosidade e chuva.

A chuva associada às frentes frias costuma ser mais intensa (às vezes, severa) quando o contraste das massas de ar é maior, quando a massa quente é muito úmida e instável ou quando a frente se desloca muito rapidamente. No verão, por ser mais quente e úmido, mas também na primavera e outono, por existir maior contraste entre as massas de ar, as frentes frias costumam provocar tempestades mais violentas, às vezes, acompanhadas de rajadas de vento e granizo.

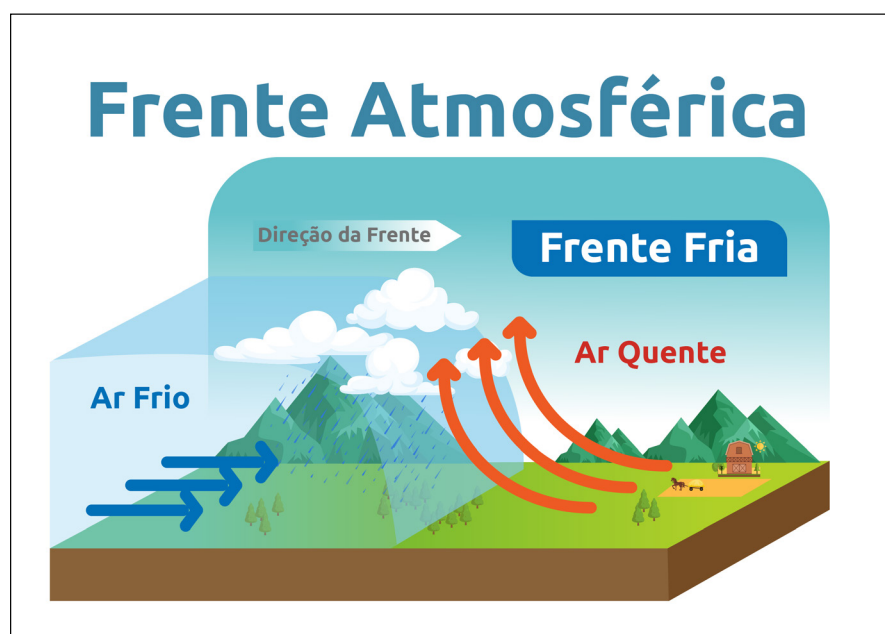


Figura 13: Diagrama esquemático da formação de uma frente fria. Fonte: Shutterstock.

As frentes frias são mais comuns no centro-sul do Brasil (Regiões Sul, Sudeste e sul da região Centro-Oeste). Contudo, especialmente no inverno, frentes frias mais intensas podem se deslocar rapidamente e atingir a Região Norte, provocando quedas bruscas de temperatura conhecidas como “friagens”.

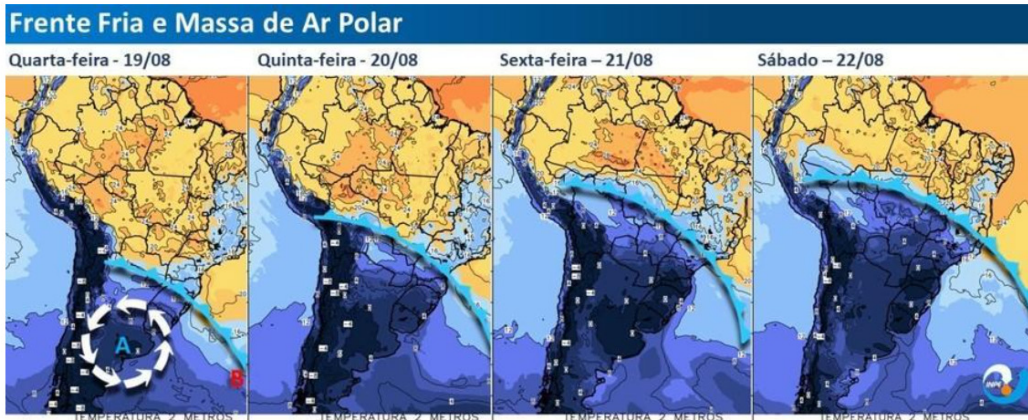


Figura 14: Representação da previsão de deslocamento de intensa massa de ar polar pelo interior do continente. Fonte: INPE, 2020.

Ocasionalmente, as frentes frias também podem se deslocar pelo litoral até a Região Nordeste, apresentando potencial para provocar chuvas volumosas e transtornos nas cidades mais populosas.

Frentes estacionárias e quentes

Quando uma frente fria deixa de avançar, ainda mantendo o contraste de temperatura entre as massas de ar localizadas mais ao norte e ao sul, ela se torna estacionária. As frentes estacionárias podem persistir alguns dias sobre uma determinada região e com isto, podem provocar acumulados de chuva importantes, com potencial para causar inundações, alagamentos ou deslizamentos de terra, dependendo da região.

O grande desastre do Vale de Itajaí em 2008 foi provocado, principalmente, pela ação de uma frente estacionária. Também existem as frentes quentes, quando a massa de ar quente avança para o sul. As frentes quentes são mais comuns na Região Sul e costumam deixar o tempo úmido e instável, favorecendo a ocorrência de nevoeiro e/ou chuva fraca.

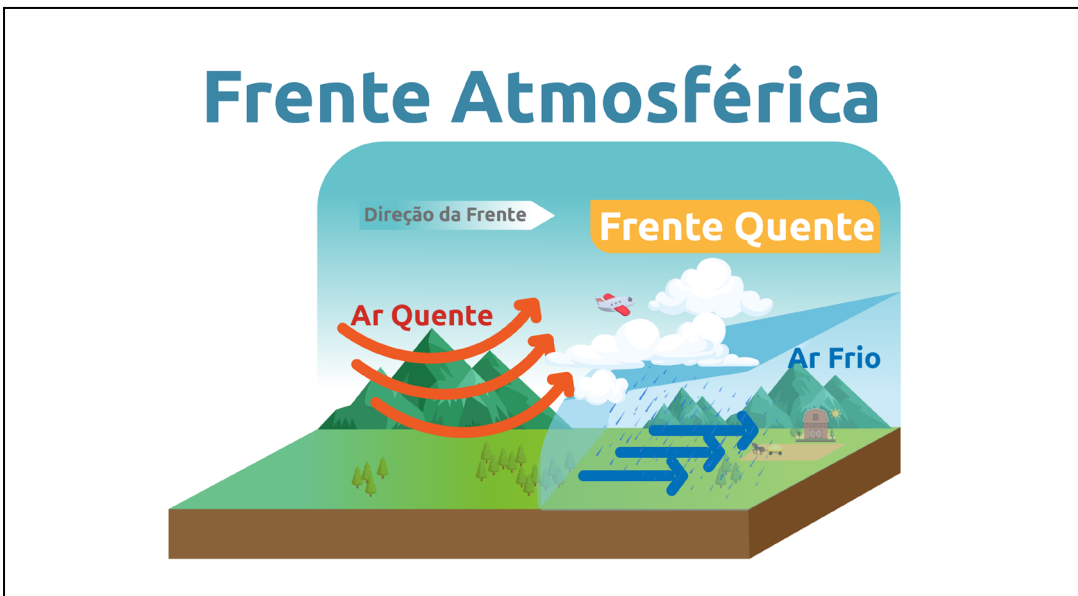


Figura 15: Diagrama esquemático da formação de uma frente quente. Fonte: Shutterstock.

Ciclones

Um ciclone é um sistema meteorológico que consiste em uma área de baixa pressão atmosférica de forma relativamente arredondada e com ventos que giram em forma horária no Hemisfério Sul.

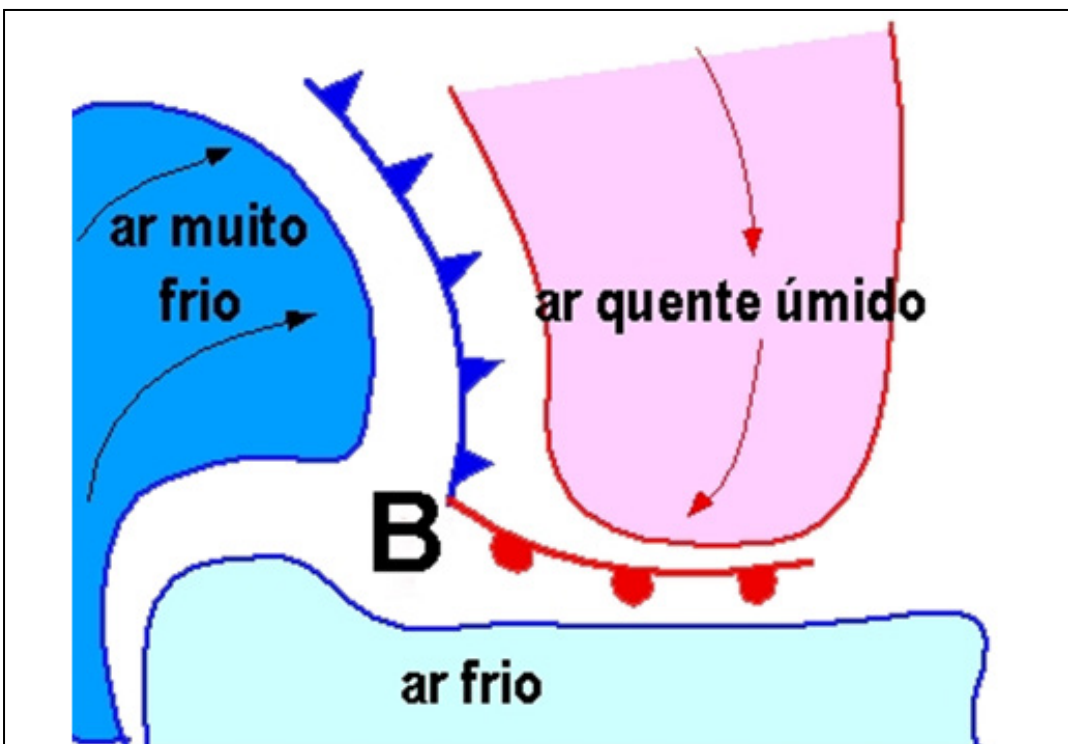


Figura 16: Esquema simples de um ciclone extratropical para o Hemisfério Sul. Fonte: dca.iag.

Por ser uma área de baixa pressão, onde o ar mais leve tende a ascender e carregar umidade para os níveis mais elevados, normalmente estão associados à formação de nuvens e de chuva.

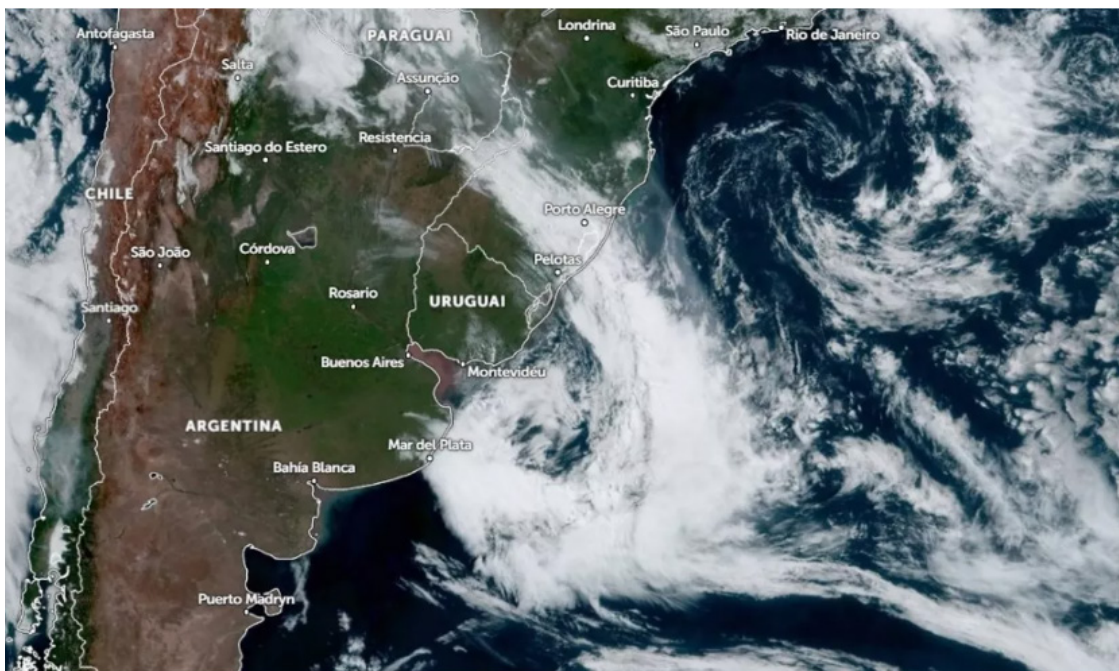


Figura 17: Um ciclone extratropical visto a partir de uma imagem de satélite. Fonte: METSUL.

Os ciclones atuam com relativa frequência nas imediações do Brasil, especialmente, sobre o Oceano Atlântico. Uma prova da sua alta frequência é o fato de que toda frente fria está associada a um ciclone, que, normalmente, se posiciona a mais de 1000 km da costa.

Em particular, os ciclones são denominados de “bomba” (ou explosivos) quando experimentam uma intensificação muito rápida. Nesse caso, o ciclone apresenta ventos muito mais fortes, tipicamente entre 50 e 100 Km/h, e chuvas mais intensas que podem estar acompanhadas, sob certas condições, de eventual queda de granizo, raios e outros fenômenos normalmente denominados de “severos”.

Por essa razão, caso um ciclone bomba se forme sobre, ou muito perto, do continente existe perigo para a população, em função dos danos que eles podem causar às construções, especialmente àquelas mais precárias.



Anticiclones

Se denomina “Anticiclone” uma área de alta pressão atmosférica relativamente extensa (às vezes, de milhares de quilômetros) em torno da qual os ventos giram no sentido anti-horário no Hemisfério Sul.

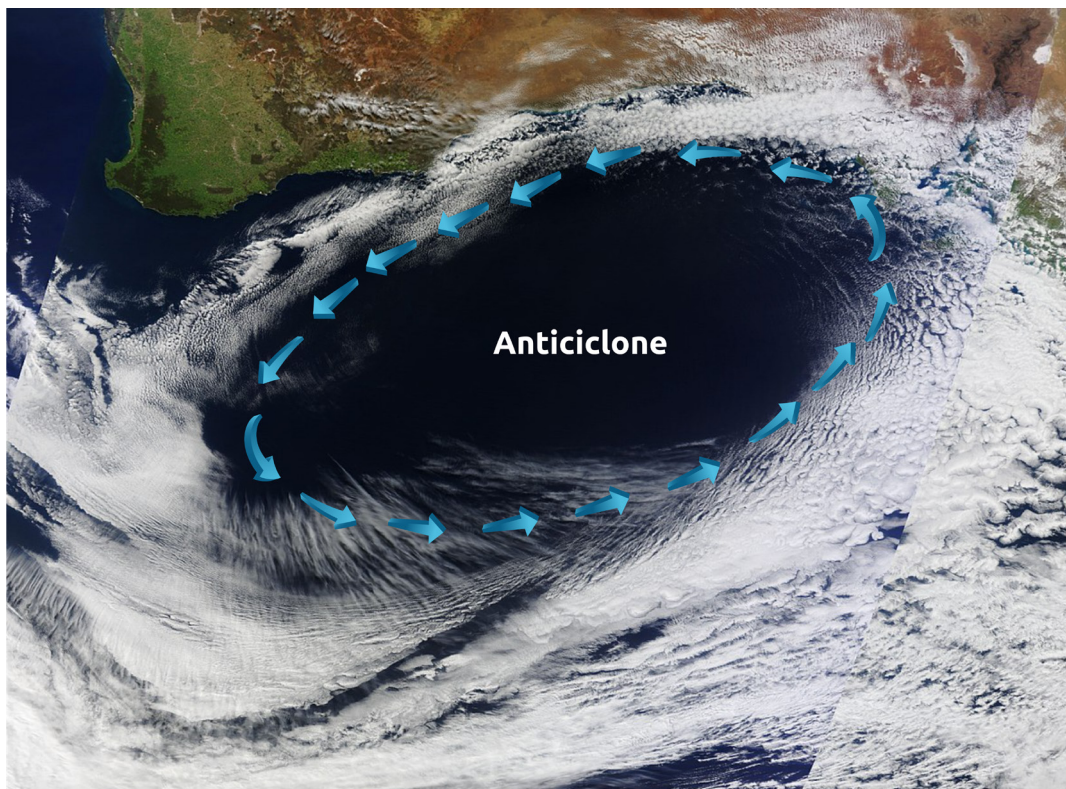


Figura 18: Um anticiclone visto a partir de uma imagem de satélite. Fonte: Nasa.

Por serem sistemas de alta pressão, os anticiclones estão normalmente associados a tempo ensolarado e seco. Esses sistemas apresentam deslocamento lento e, às vezes, podem permanecer semi-estacionários por vários dias. Por isso, tanto as ondas de calor quanto as secas estão muito frequentemente associadas à atuação dos anticiclones. Os anticiclones intensos que se localizam nas latitudes mais altas, por serem amplos, lentos e estáveis, costumam prejudicar o deslocamento das frentes frias, pelo que são denominados de “bloqueios”.

Embora os anticiclones normalmente estejam associados a tempo ensolarado, devido à rotação dos ventos no sentido anti-horário, a persistência

dos ventos de leste, que normalmente são úmidos por virem do Oceano Atlântico na parte norte destes sistemas, podem produzir tempo nublado e chuvas contínuas, às vezes com potencial para causar transtornos, além de agitação marítima. Na Região Sul, as chuvas e ressacas associadas à persistência dos ventos de leste é conhecida como “lestada”.

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) consiste em uma banda de nebulosidade que se estende desde a Amazônia até o Oceano Atlântico, atravessando as Regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil.

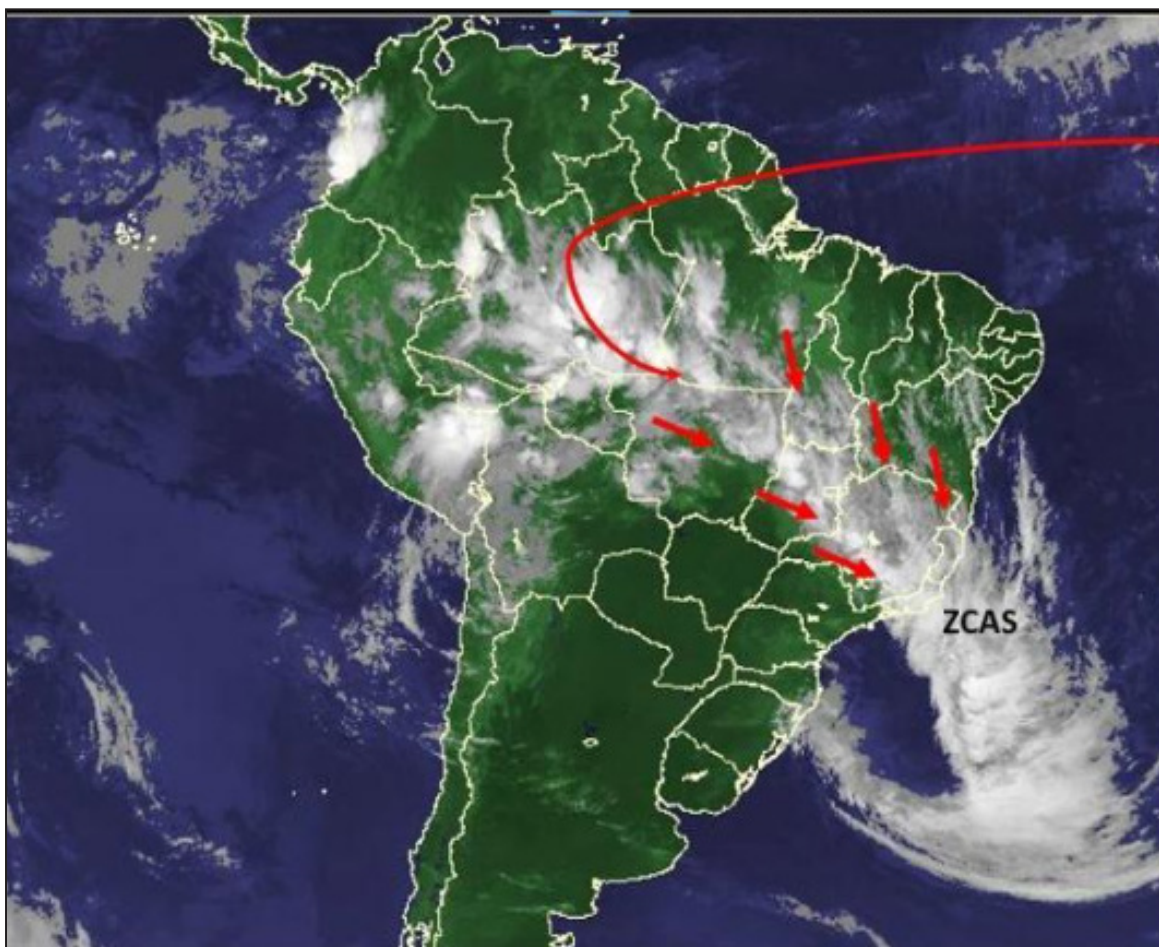


Figura 19: Zona de Convergência do Atlântico Sul vista a partir de imagem de satélite. Fonte: CPTEC-INPE.

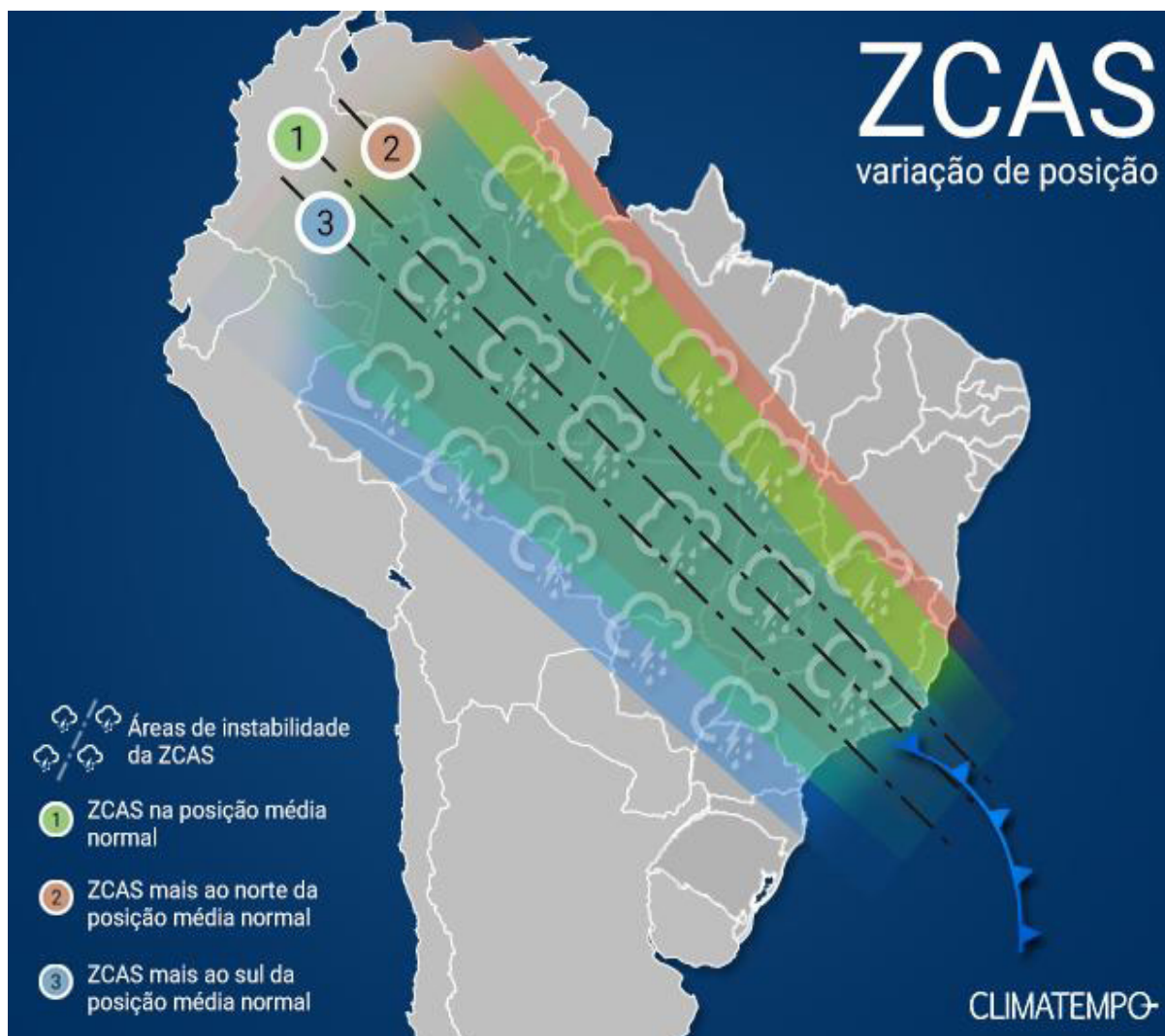


Figura 20: Esquema de variação de posição das áreas de instabilidade da ZCAS. Fonte: Climatempo.

É um sistema que ocorre exclusivamente durante a estação chuvosa, e que é responsável por chuvas persistentes e abundantes. Embora normalmente as ZCAS não estejam associadas à ocorrência de tempestades localmente violentas, os grandes volumes de chuva que produz se devem a sua longa persistência, geralmente, entre 3 e 7 dias.

A ZCAS é um sistema que costuma provocar grandes transtornos, como inundações e deslizamentos de terra, especialmente quando apresenta forte intensidade e longa duração. Grandes desastres, como o ocorrido em 2011 na Região Serrana do Rio de Janeiro ou em janeiro de 2020 em Minas Gerais, foram provocados por este tipo de sistema meteorológico.

Tempestades e sistemas meteorológicos de escala menor

Especialmente no período de verão, na grande área central do Brasil ocorrem pancadas de chuva provocadas por nuvens de pequena escala, de 2 a 10 km de extensão horizontal, mas de grande altura e com poder para provocar precipitações curtas e volumosas.

Essas nuvens, chamadas de “convectivas”, se formam a partir do calor e da umidade típicos da estação chuvosa. A forte insolação faz com que o solo aqueça rapidamente e o ar que fica em contato com ele se torne mais leve, ascendendo como um balão de ar quente e carregando a umidade da superfície até grandes alturas, formando, assim, as nuvens de tempestades.

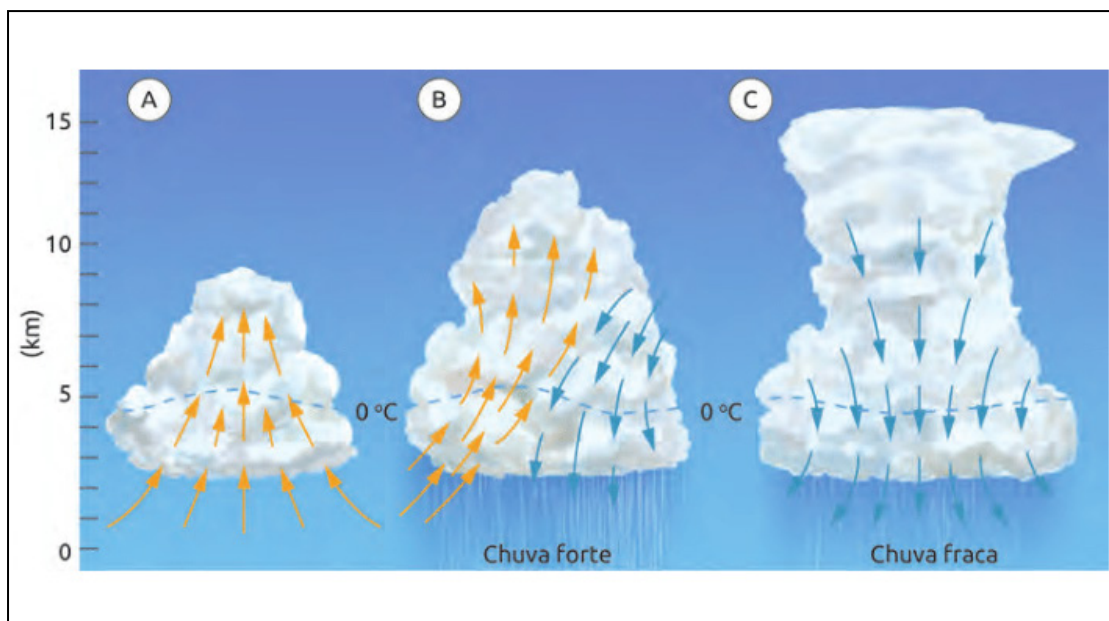


Figura 21: Ciclo de vida de uma nuvem cumulonimbus: (A) estágio de cumulus; (B) estágio maduro; (C) estágio de dissipação. Fonte: Adaptado de Lutgens e Tarbuck (2010).

Em condições mais favoráveis, essas nuvens podem se agrupar e formar sistemas precipitantes maiores e mais complexos e intensos, com potencial para provocar estragos, como rajadas de vento, granizo e muitas descargas elétricas. No Centro-Sul do Brasil, estes sistemas maiores e mais intensos também podem se formar a partir de frentes frias. Quando isso ocorre nas estações de transição (primavera e outono), a possibilidade de queda de granizo aumenta consideravelmente.

Na Zona da Mata da Região Nordeste, durante a estação chuvosa, a precipitação costuma ser de fraca a moderada e muito frequente. Contudo, em algumas oportunidades é também possível a formação de nuvens de grande altura e com capacidade para provocar volumes elevados de precipitação.

Esse fenômeno é chamado de “ondas de leste” ou “distúrbios ondulatórios de leste”, visto que, as nuvens provêm do oceano e se intensificam quando se aproximam do continente. Esse tipo de sistema meteorológico tem grande potencial para causar estragos, especialmente nas grandes cidades do litoral nordestino.

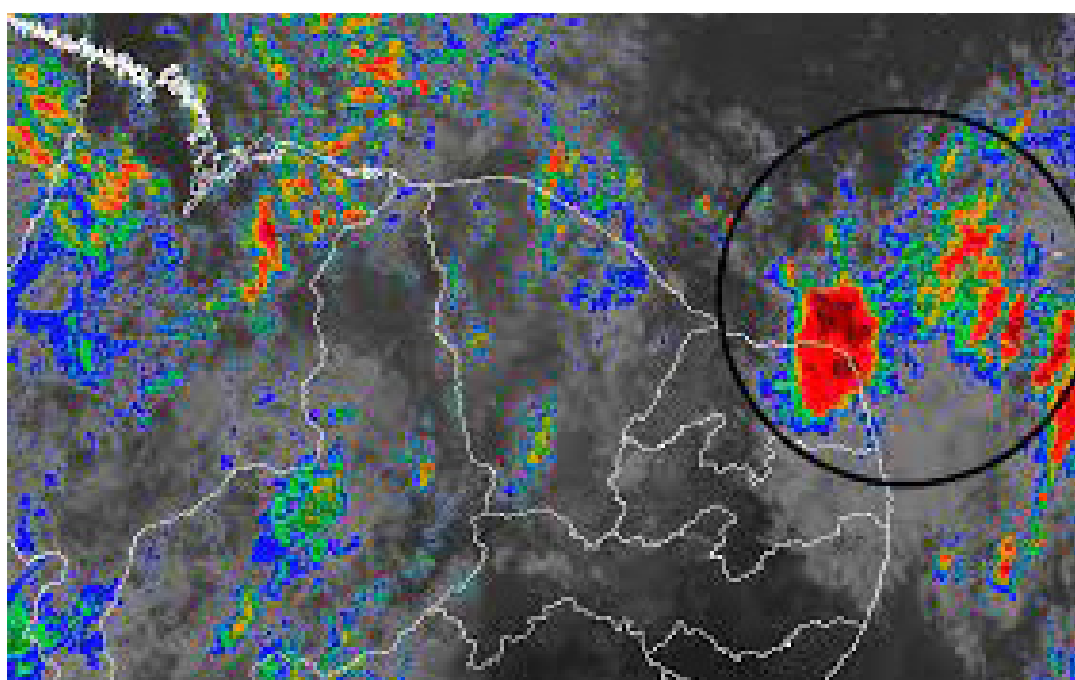


Figura 22: Imagem de satélite indica presença de Distúrbio Ondulatório de Leste a leste do Nordeste. Fonte: Inmet.

Fenômenos climáticos

Os fenômenos climáticos influenciam as condições meteorológicas no longo prazo. Por exemplo, as variações da posição do sol em relação à Terra determinam que na maior parte do Brasil (com exceção da Região Sul) existam períodos secos e chuvosos alternados em diferentes épocas do ano. As secas, que normalmente duram meses ou até anos, são consideradas

“extremos climáticos” e suas causas usualmente envolvem a combinação de vários fatores, como alterações na temperatura e comportamento dos oceanos, além de efeitos de duração ainda maiores, como o aquecimento global e as mudanças no uso do solo.



Figura 23: Zona rural sofre com estiagem prolongada. Fonte: Freepik.

Outro aspecto climático que afeta o Brasil é o fenômeno do “El Niño” e “La Niña”. O fenômeno do “El Niño” consiste no aquecimento das águas do Oceano Pacífico Central, o que provoca uma concentração maior das precipitações na Região Sul e sua falta na Região Norte. Em termos gerais, as grandes inundações na Região Sul e as grandes secas da bacia amazônica estão associadas ao fenômeno do “El Niño”.

Pelo contrário, o “La Niña” ocorre quando as águas do Oceano Pacífico Central estão mais frias que o normal, o que faz com que as frentes frias passem muito rapidamente pela Região Sul, provocando chuvas mais rápidas e escassas. Já na Amazônia e no norte do Nordeste do Semiárido, as precipitações se vêm incrementadas. A estação chuvosa dos anos 2020/21 foi marcada por este fenômeno, caracterizada por uma intensa seca no Sul e inundações históricas na bacia amazônica.



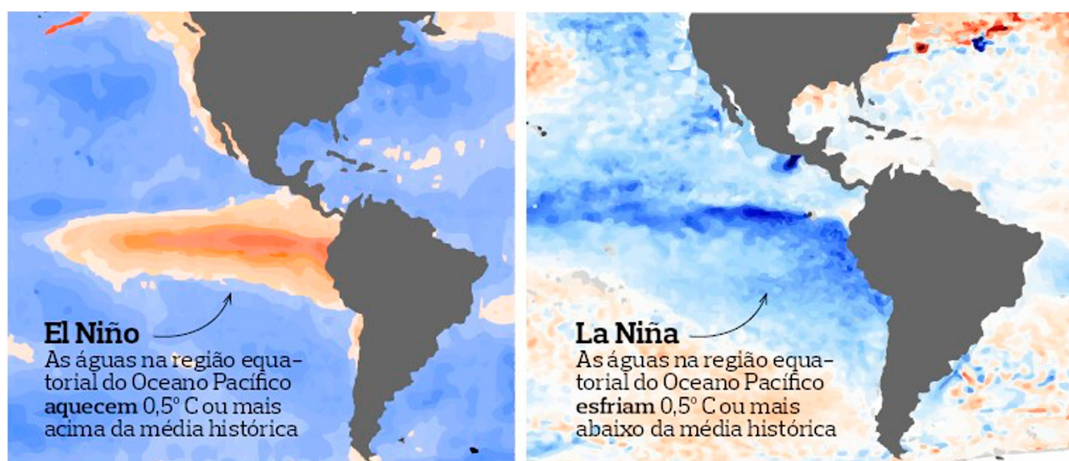


Figura 24: Esquema ilustrativo dos fenômenos El Niño e La Niña. FONTE: Revista Globo Rural.

Medição da Precipitação

A precipitação é um dos elementos meteorológicos mais importantes para o monitoramento dos desastres naturais, visto que a partir de determinados volumes acumulados, aumenta a probabilidade de ocorrência de inundações e/ou deslizamentos de terra. Podemos medir a precipitação em diversas escalas de tempo, em forma mensal ou anual, como com frequências de medição menores, em escala de tempo de horas ou minutos.

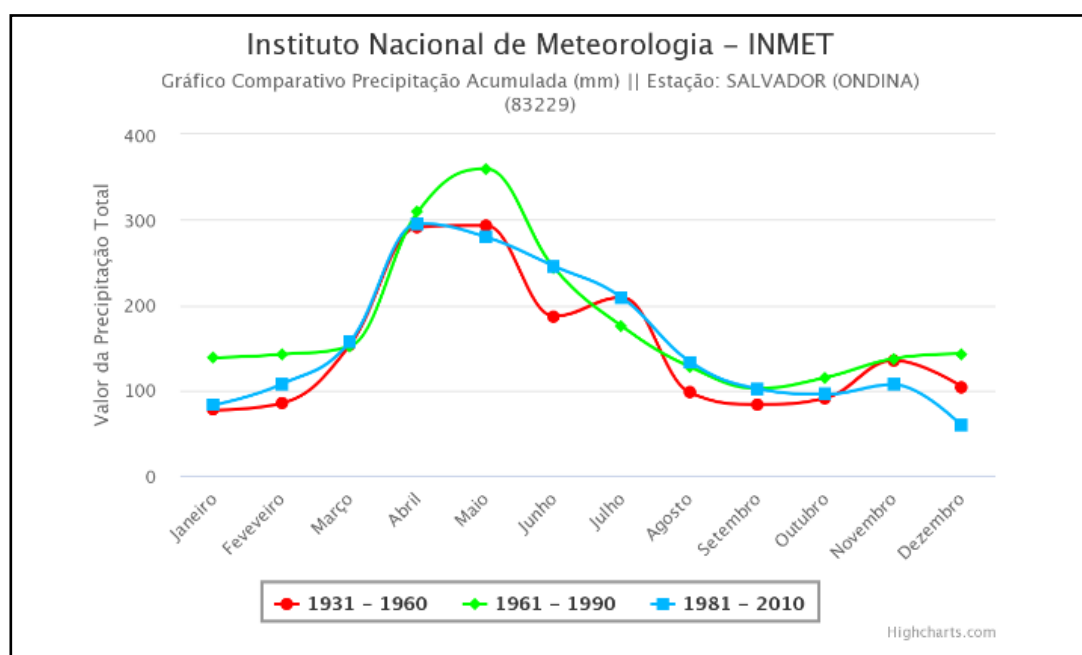


Figura 25: Precipitação acumulada mensal para a cidade de Salvador, BA. Fonte: INMET.

O conhecimento prévio da climatologia de precipitação, ou seja, os valores médios de chuva em uma determinada região, é muito importante para o planejamento urbano e também para a prevenção de eventos de desastres naturais.

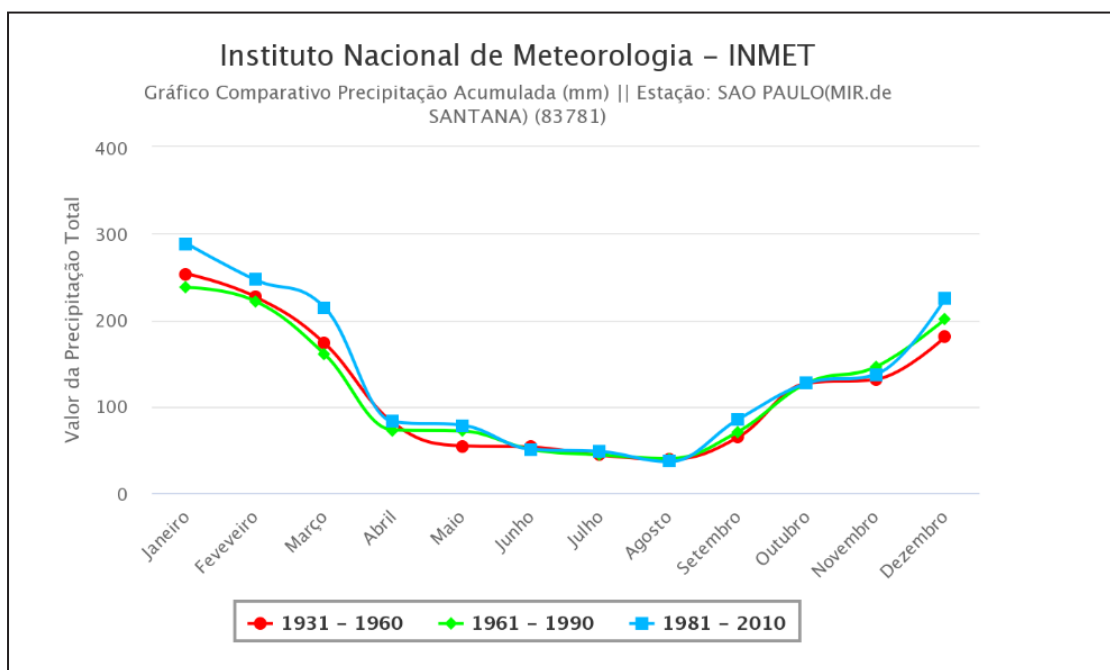


Figura 26: Precipitação acumulada mensal para a cidade de São Paulo, SP. Fonte: INMET.

Sistemas para medição da precipitação

Pluviômetros

A precipitação pode ser medida de diversas maneiras, desde equipamentos construídos em casa de forma simples até através de equipamentos mais sofisticados, que incluem elementos eletrônicos. O equipamento o qual realiza a medida de precipitação é chamado “pluviômetro”.



Figura 27: Pluviômetro convencional e automático. Fonte: Agropós.

Algumas das medidas diretas de precipitação são realizadas coletando as gotas de chuva em um recipiente e, posteriormente, medindo a altura do volume acumulado em milímetros. Este tipo de equipamento possui a grande vantagem de ser facilmente construído, necessitando apenas de poucas ferramentas. Mesmo sendo facilmente criado, este dispositivo possui a desvantagem de medir somente o acumulado em um determinado período de tempo, não sendo possível conhecer a taxa constante de precipitação.



Figura 28: Pluviômetro caseiro. Fonte: Portal do professor.

Atualmente, é também muito frequente o uso de pluviômetros automáticos e semi-automáticos. Tais equipamentos captam a água da chuva em um recipiente cilíndrico e contabilizam a quantidade acumulada através de sensores eletromagnéticos em frequências de tempo que podem variar desde minutos até horas ou dias.



Figura 29: Detalhe dos componentes do pluviômetro. Fonte: Revista Escola.

A diferença entre os equipamentos automáticos e semi-automáticos está na forma como são transmitidas as informações, onde, no primeiro caso as informações são enviadas automaticamente para o usuário através da internet ou sinal de celular, e no segundo necessita de uma leitura manual, realizada diretamente pelo usuário no equipamento.

A grande vantagem desses pluviômetros é a possibilidade de medir a chuva em diversas escalas de tempo, necessitando de pouco ou nenhuma intervenção do usuário. Uma das principais desvantagens é que estes equipamentos

possuem um custo de aquisição e manutenção maior do que os pluviômetros convencionais. Independentemente do tipo de pluviômetro, as medidas de precipitação são feitas em milímetros (mm), o que representa o equivalente a um litro d'água despejado em uma superfície de 1m².

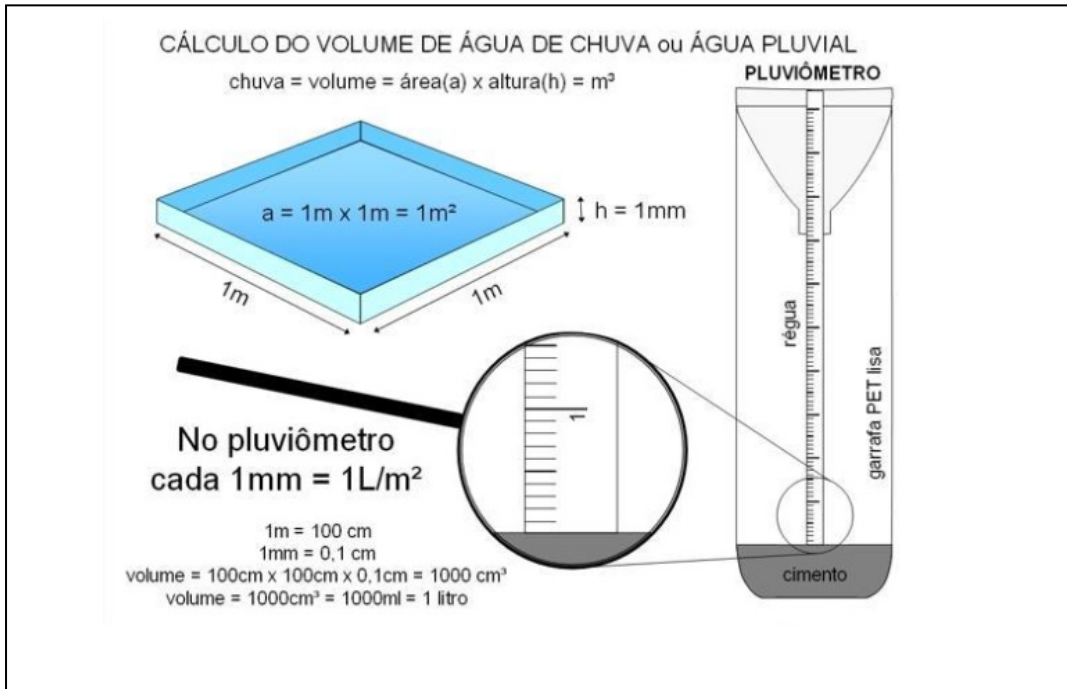


Figura 30: Esquema ilustrativo do que representa 1mm de chuva acumulada. Fonte: Defesa Civil Santo André.

Satélites meteorológicos

Os satélites meteorológicos são equipamentos que encontram-se orbitando o planeta Terra a distâncias que variam de 300 km a mais de 35.000km da superfície. Existem basicamente dois tipos de satélites meteorológicos, os que possuem uma órbita polar e os geoestacionários.

Estes satélites carregam diversos equipamentos que permitem realizar desde fotografias até medir a temperatura das nuvens e captar a ocorrência de descargas elétricas. Neste sentido, por possuírem câmeras fotográficas permitem observar a atmosfera terrestre de forma mais ampla e em tempo real e cobrindo uma área muito ampla.

Os satélites de órbita polar executam voltas ao redor da Terra no sentido norte-sul a uma altura relativamente baixa, de aproximadamente 500 km, pelo qual fornecem imagens mais nítidas da superfície.

Como estes satélites encontram-se sempre em movimento ao redor do planeta, com velocidades que superam os 20.000 km/h, possuem a desvantagem de “ver” apenas o local por onde passam, havendo uma demora de várias horas, ou ainda dias, até a próxima passagem, o que não permite uma observação da Terra em curtos intervalos de tempo.

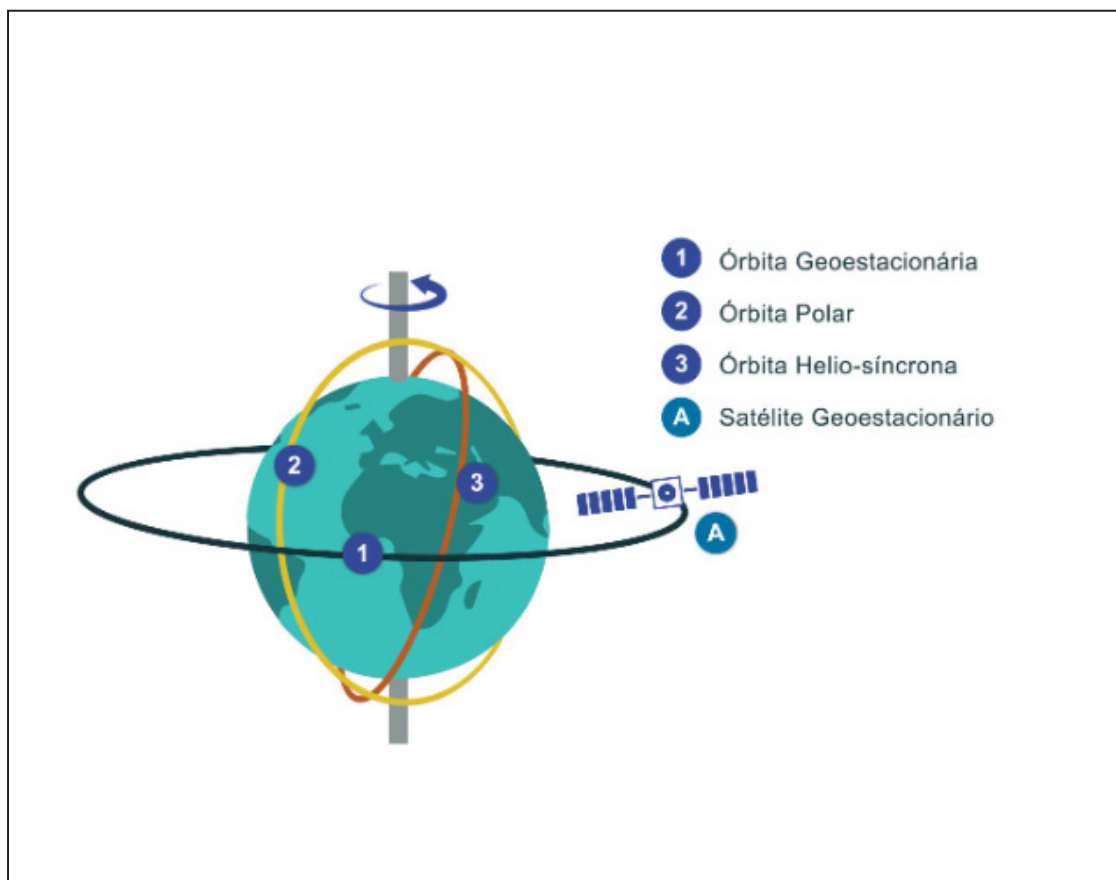


Figura 31: Imagem ilustrativa do conceito de satélite geoestacionário. Fonte: SUTCLIFFE, A; BRITO, A.C; SÁ, C; SOUSA, F., BOUTOV, D; BROTAS, V. (2016).

Diferente dos satélites de órbita polar, os satélites geoestacionários ficam posicionados no espaço sobre a linha do equador de forma que realizam o mesmo movimento de rotação da Terra a uma distância de aproximadamente 35.000km, observando sempre o mesmo ponto/área da superfície

Uma grande vantagem deste tipo de satélite é permitir a observação constante do mesmo ponto, podendo, por exemplo, acompanhar a formação e dissipação de nuvens sobre uma determinada área. Contudo, uma das desvantagens, por estar mais distantes da superfície, é a menor qualidade das imagens e informações com relação aos satélites de órbita polar.

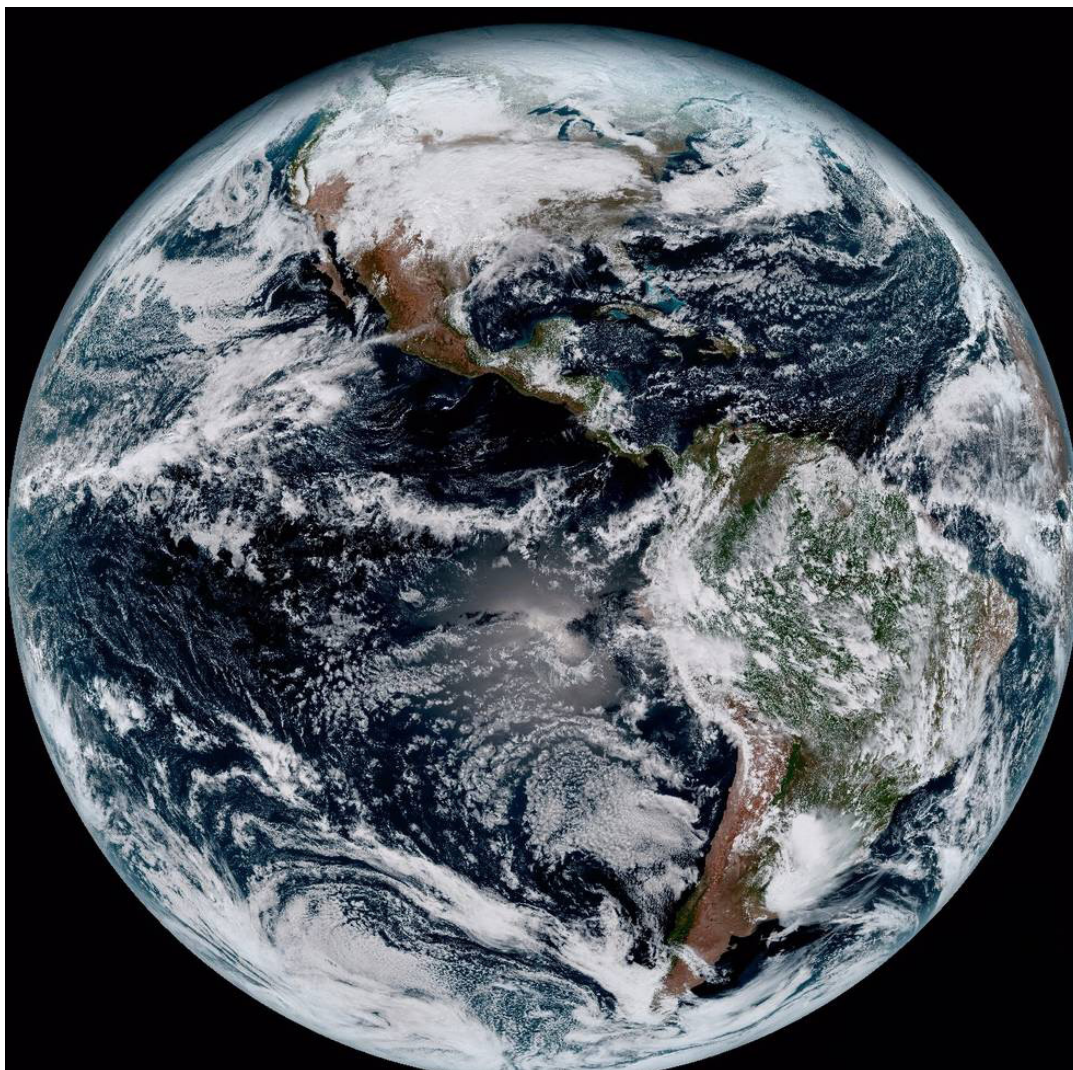


Figura 32: Imagem do satélite NOAA GOES-16 às 16h do dia 15 de janeiro de 2017. Fonte: NASA.

Os satélites meteorológicos possuem também a capacidade de obter informações detalhadas das nuvens, como, por exemplo, seu tamanho ou a temperatura no seu topo, além de estimar, após o pós-tratamento das imagens, a precipitação sobre grandes áreas do planeta.

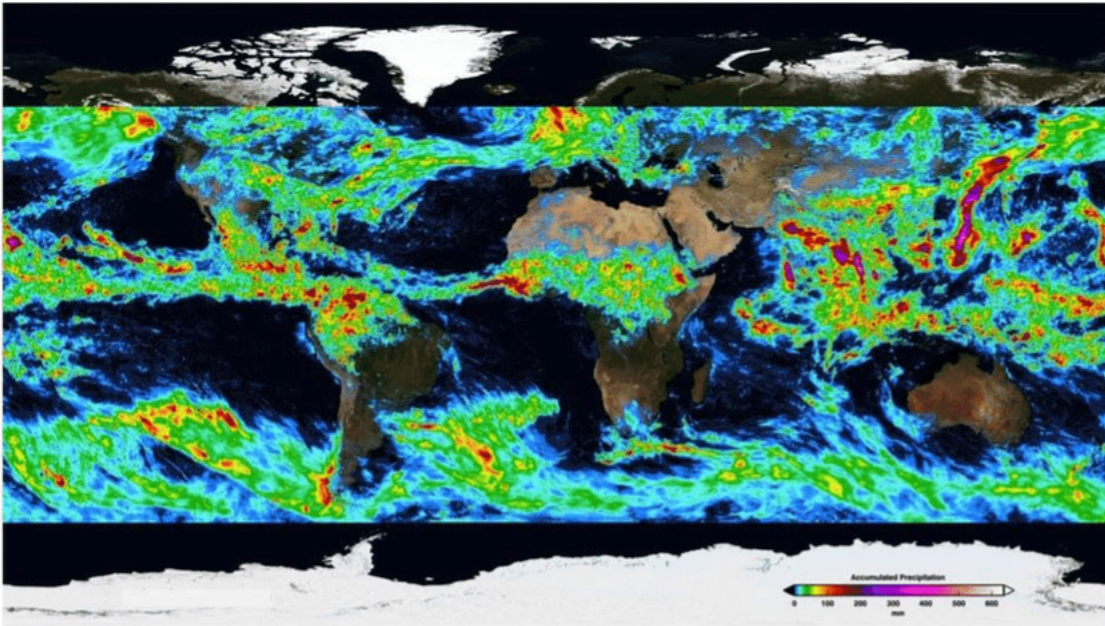


Figura 33: Estimativa de precipitação acumulada do projeto GPM-NASA. Fonte: NASA.

Desta forma, a precipitação estimada por satélite possui uma abrangência espacial bem maior que a coletada por um pluviômetro na superfície. As medições de precipitação realizadas pelos satélites possuem boa qualidade, mas, mesmo com as melhoras alcançadas nos dias de hoje, ainda podem apresentar pequenos erros, razão pela qual recebem o nome de “estimativa”.

Utilização de imagens de satélite no monitoramento

A utilização das imagens de satélite no monitoramento de desastres naturais vai além da obtenção das estimativas de precipitação. Para isso, é também importante lembrar que a temperatura do ar diminui com a altura, a uma taxa aproximada de 6-7°C por quilômetro. Isso significa que uma nuvem alta será muito fria e uma baixa mais quente.

Por outro lado, é necessário saber que as nuvens que têm potencial para provocar chuvas mais intensas são aquelas que apresentam grande espessura, ou seja, uma base próxima ao solo (tipicamente entre 500m e 1km) e um topo



muito elevado, e, portanto, frio, que pode chegar até os 20 km de altura. Uma exceção ocorre no litoral da Região Nordeste, onde nuvens relativamente baixas e pouco espessas (denominadas, justamente, como “nuvens quentes”) têm potencial para causar chuvas intensas. Essa característica se deve ao mecanismo de formação dessas nuvens que envolvem o ar marítimo tropical.

As imagens de satélite estão disponíveis em vários canais de emissão, mas para o monitoramento meteorológico existem três tipos que devem ser especialmente considerados. As imagens do canal visível (muitas vezes identificadas como “VIS”) são fotografias das nuvens, iguais às que tiraríamos com uma câmera, e que permitem identificar as nuvens com maior espessura. Como a luz do sol se reflete com maior intensidade quando as nuvens são mais espessas, estas aparecerão com cores claras mais brilhantes nas imagens do canal visível.

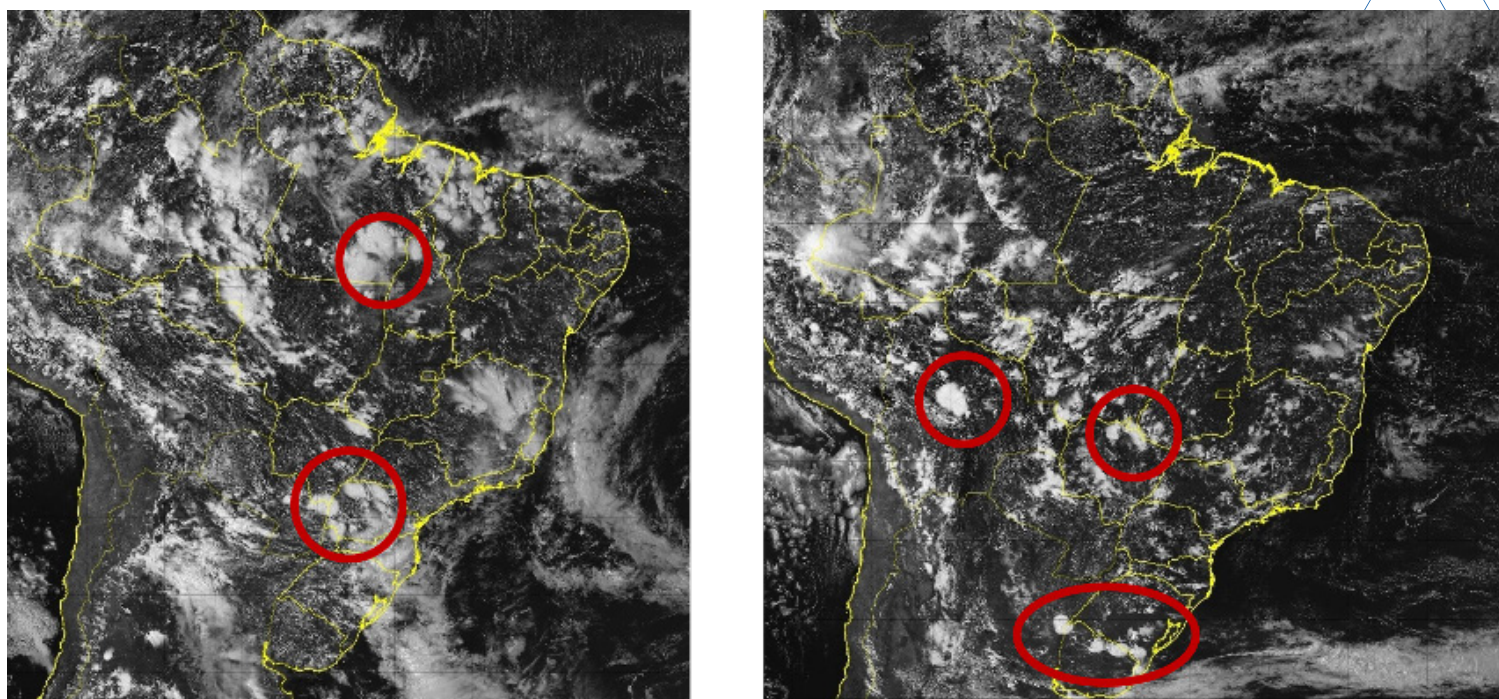


Figura 34: Exemplo de nuvens com maior espessura vistas a partir de uma imagem de satélite no canal visível. Fonte: CPTEC-INPE.

Entretanto, uma nuvem brilhante no canal visível não necessariamente estará associada à ocorrência de chuva forte, pois poderia corresponder a nuvens baixas/médias que embora relativamente espessas, normalmente provocam precipitação escassa ou moderada. O outro elemento importante

é a altura do topo, ou seja, é necessário identificar as nuvens de grande espessura e com topo elevado. Para isso servem as imagens no canal infravermelho (normalmente identificadas como IR).

O canal infravermelho detecta a temperatura das nuvens, e, como são tiradas desde o alto, elas medem justamente a temperatura dos topos. Como a temperatura da atmosfera diminui com a altura, um topo com a temperatura muito baixa significa que a nuvem está muito alta.

Os topos de nuvens mais elevados aparecem também mais brilhantes nas imagens do canal infravermelho. Em consequência, se observamos nebulosidade brilhante tanto nas imagens visíveis como do canal infravermelho, podemos estar em presença de nuvens de grande espessura e altura, chamadas de nuvens “convectivas”, normalmente associadas a pancadas de chuva mais intensas e tempestades.

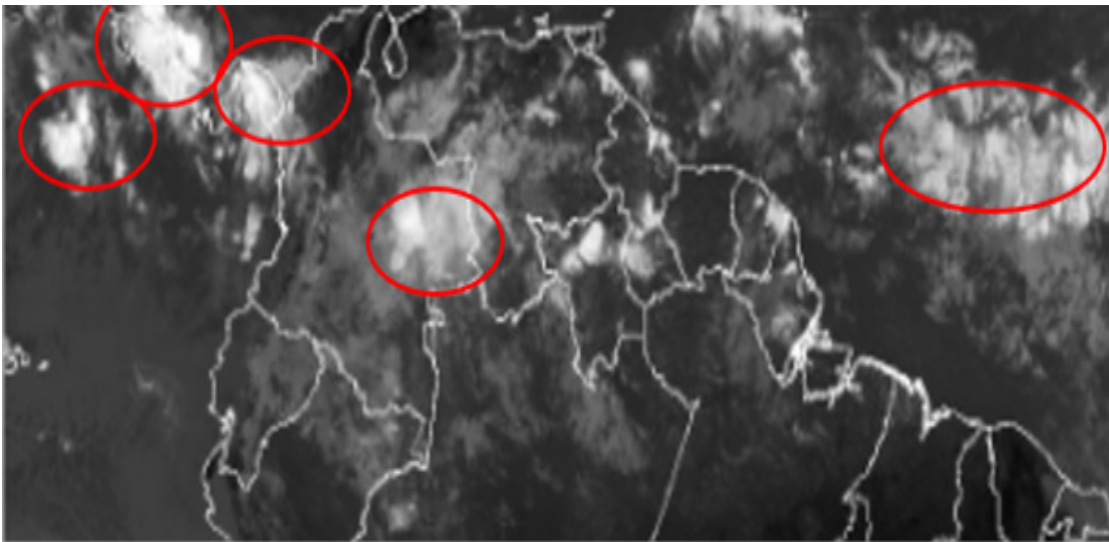


Figura 35: Exemplo de imagem infravermelha (abaixo) as elipses mostram áreas com nuvens de grande desenvolvimento vertical denominadas “convectivas”, identificadas pelo maior brilho em ambas as imagens. Fonte: CPTEC/ INPE.

Uma alternativa para determinar a presença de nuvens com potencial para provocar chuvas intensas é o uso de imagens de “topos realçados”. Na prática são imagens infravermelhas onde são destacadas em cores as nuvens cujos topos estão mais frios. A presença de topos frios pode ocorrer nas latitudes altas independentemente do tipo de nuvem, porque nessas latitudes faz, de fato, muito frio.



Contudo, quando isso ocorre nas latitudes tropicais, basicamente sobre todo o território brasileiro, pode indicar a presença de nuvens potencialmente perigosas. Em termos gerais, os topos mais frios que -70°C (ilustrados na cor vermelha escura no exemplo abaixo) são indicativos da presença de nuvens de tempestade. As imagens de topos realçados sempre mostram em cores os topos mais frios, mas a escala de cores utilizada pode mudar em função da fonte das imagens, pois trata-se de um procedimento artificial, feito no pós-processamento da foto.

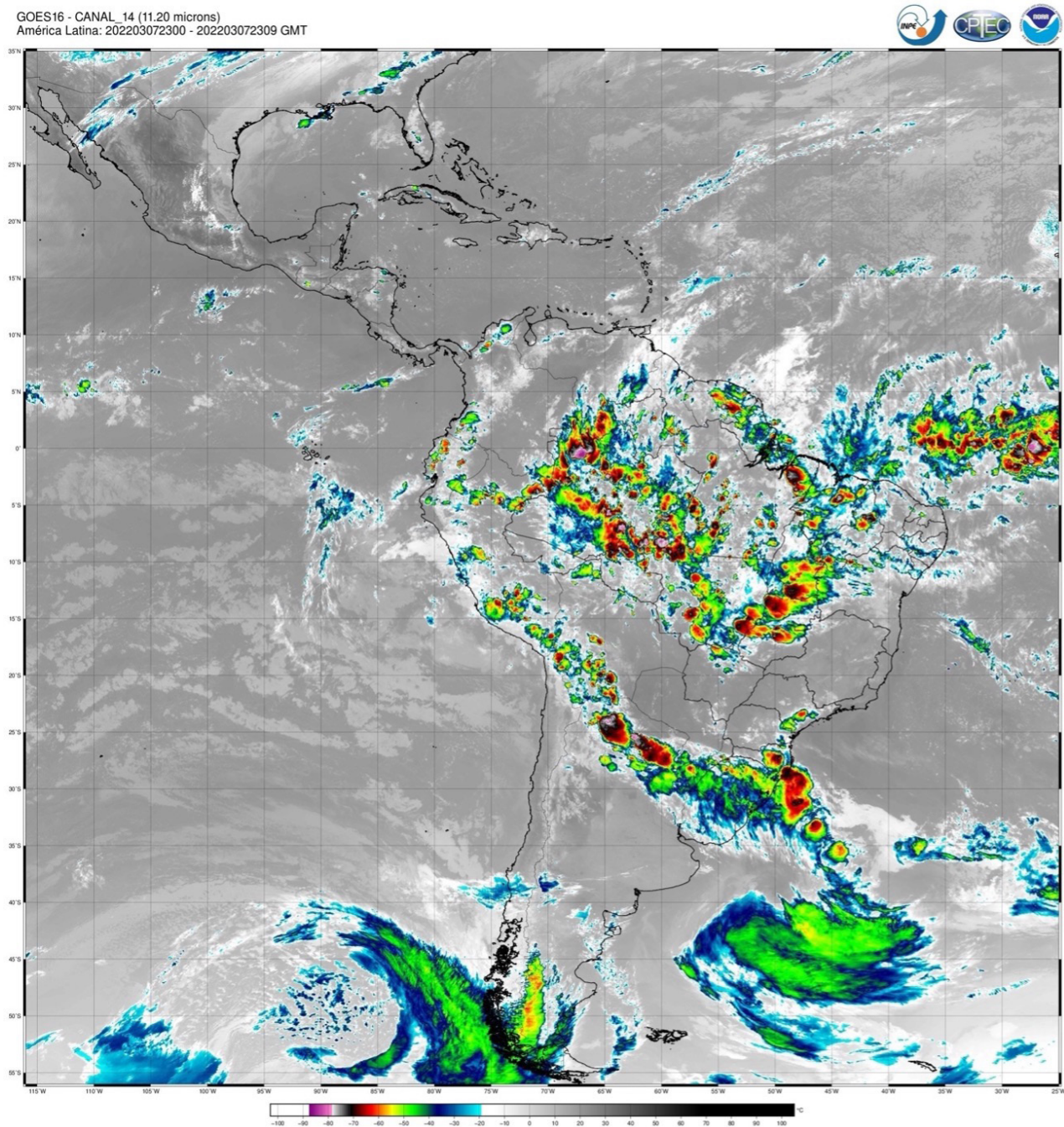


Figura 36: Exemplo de imagem de satélite infravermelho com topos realçados. A escala de cor indica a temperatura do topo das nuvens. Temperaturas mais frias, topos mais elevados. Fonte: CPTEC-INPE.

Finalmente, cabe destacar que as nuvens potencialmente mais perigosas, denominadas "*cumulonimbus*", apresentam normalmente uma forma predominantemente ovalada ou arredondada. Assim, uma nuvem brilhante nas imagens visíveis e infravermelho e/ou com topos muito frios (menores que -70°C) e forma arredondada pode indicar a ocorrência ou a proximidade de chuvas volumosas.

Um aspecto importante é que a maioria dos portais que disponibilizam imagens de satélite oferecem a possibilidade de realizar animações, com o qual é possível verificar se as áreas de tempestade estão se aproximando ou se afastando das áreas de interesse. Contudo, uma limitação é o atraso entre obtenção da foto pelo satélite e a disponibilidade no portal, além da frequência com que as imagens são oferecidas. No melhor dos casos, as imagens estão disponíveis a cada 15 minutos.

Identificação de sistemas meteorológicos potencialmente severos

As informações de satélite, radar meteorológico e descargas elétricas permitem detectar áreas sujeitas a chuvas intensas, que incluem a possibilidade de ocorrência de fenômenos "severos" como rajadas de vento, granizo e descargas elétricas. Essas ferramentas podem ser combinadas para identificar os sistemas meteorológicos que as causam, e, em função do tipo, estabelecer sua provável evolução futura.

Sistemas frontais

Os sistemas frontais estão normalmente associados a longas bandas de nuvens que surgem da condensação do ar mais quente e úmido que fica em



contato com outra massa mais fria. Portanto, estes sistemas podem ser identificados com relativa facilidade nas imagens de satélite através de uma extensa banda de nuvens. O brilho das imagens ou os valores de refletividade do radar determinarão a presença de alguns setores mais propícios para ocorrência de chuva mais abundante.

No exemplo abaixo a elipse amarela identifica a banda de nuvens principal da frente fria e a elipse vermelha aponta a área mais brilhante na imagem infravermelha, correspondente a topos mais elevados, que, portanto, podem provocar chuvas mais intensas e fenômenos de tempo severo.

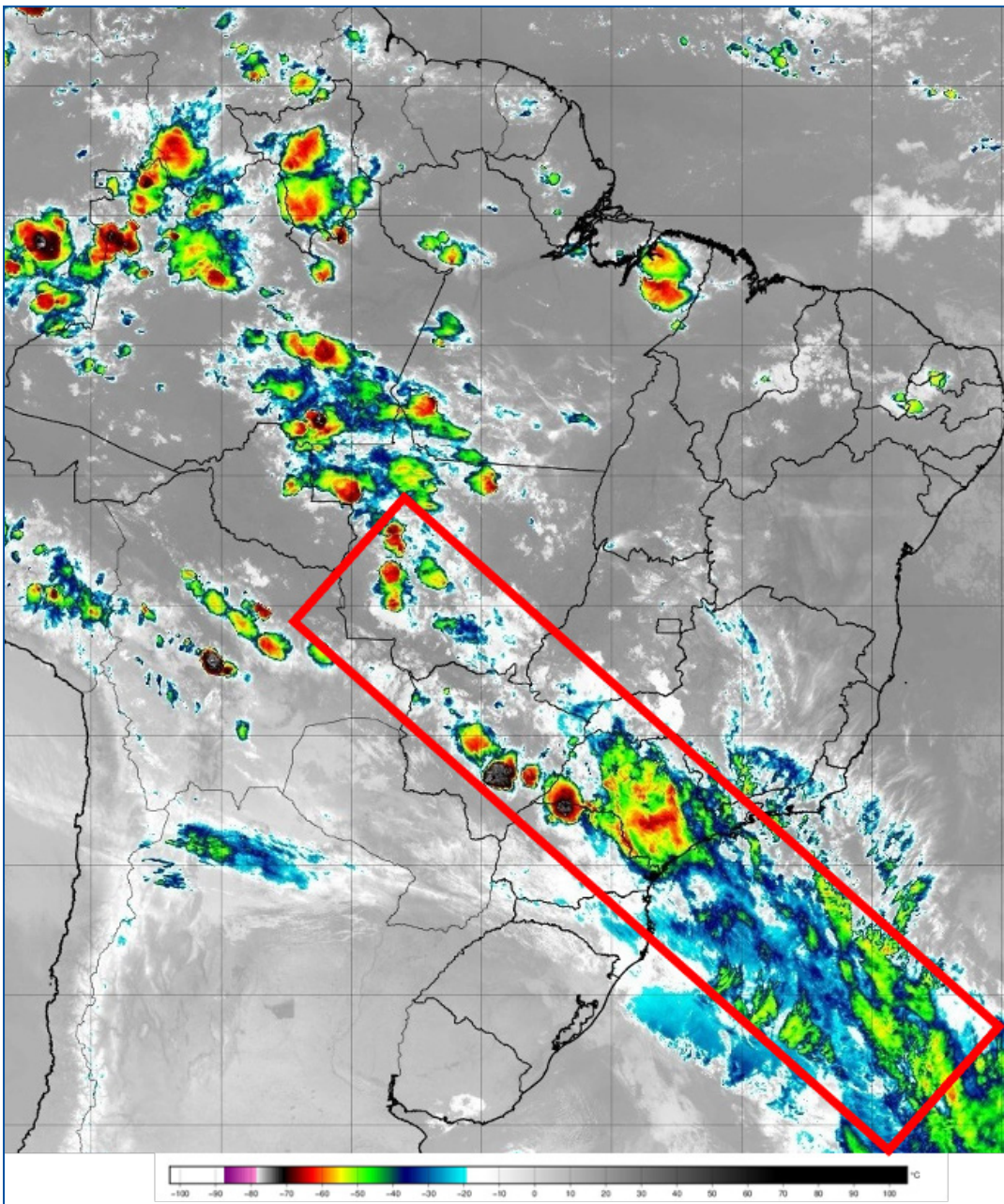


Figura 37: Exemplo de frente fria identificada a partir de uma imagem de satélite. Destaque para o posicionamento do sistema frontal. Fonte: CPTEC/INPE.

A partir da animação das imagens será possível estimar o deslocamento do sistema frontal e determinar seu tipo, podendo ser frio, quente ou estacionário.

Em outras palavras, o sistema frontal será, de fato, uma frente fria quando a banda de nuvens se deslocar para o norte, e uma frente quente quando ela se deslocar para o sul. As frentes frias podem apresentar velocidade de deslocamento muito variável, mas pode ser considerada uma velocidade média de 20-30 km/h.

Em termos gerais, no Brasil, por estar em uma Região tropical, as frentes frias são mais frequentes que as quentes, com exceção da Região Sul onde ambos tipos são quase igualmente prováveis.

ZCAS

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é um sistema que se forma na estação chuvosa da grande área central do Brasil, e se caracteriza por uma extensa banda de nuvens que se estende desde a Amazônia até o Oceano Atlântico, atravessando grande parte do país.

Sua principal característica é a sua persistência por vários dias (mínimo 3 dias) e seu caráter quase estacionário. Isso facilita sua identificação através de imagens de satélite, tanto no canal visível como infravermelho.

Um fato importante, é que as ZCAS podem ou não incluir nuvens convectivas, ou seja, a banda de nuvens não necessariamente será muito brilhante, mas, em função de seu lento deslocamento, pode provocar grandes acumulados pluviométricos.



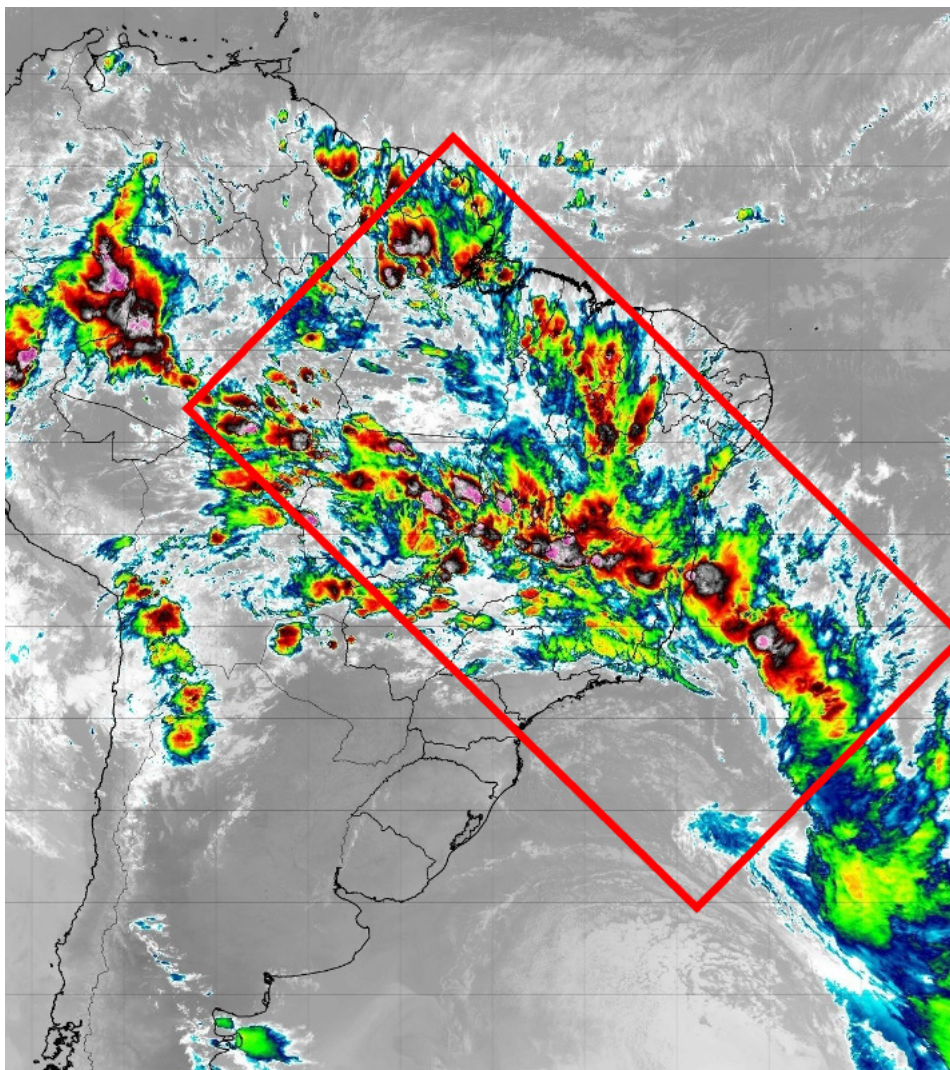
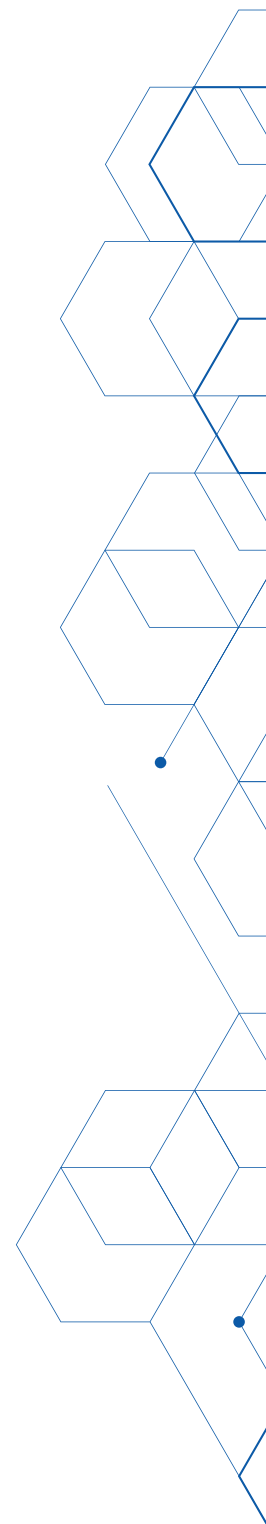


Figura 38: Exemplo de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) observada no dia 23/12/2021. Sua persistência provoca grandes volumes de chuva. Fonte: CPTEC/INPE

Ciclones

Os ciclones são áreas de baixa pressão relativamente arredondadas de algumas centenas de quilômetros de diâmetro, e que também podem ser facilmente identificadas nas imagens de satélite. No Brasil, os ciclones costumam se formar sobre o oceano, normalmente associados à presença de frentes frias.

Os ciclones costumam provocar chuvas fracas ou moderadas, mas alguns casos mais intensos podem causar tempo severo. Um dos maiores perigos dos ciclones é a ocorrência de ventos mais intensos, com o qual é muito importante estabelecer sua posição, já que usualmente os ven-



tos mais fortes ocorrem na parte oeste do sistema. Se por exemplo, um ciclone apresenta seu centro sobre o oceano nas proximidades da costa, sua porção oeste poderia causar problemas de ressaca.

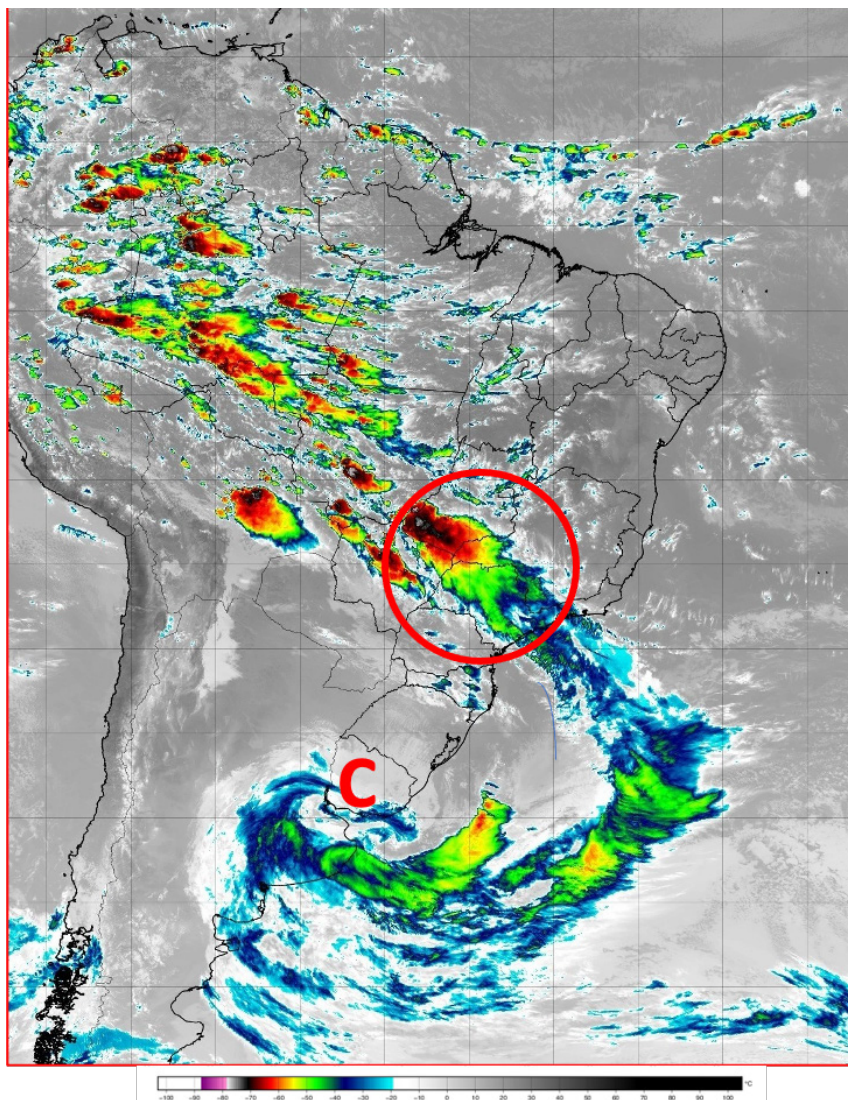
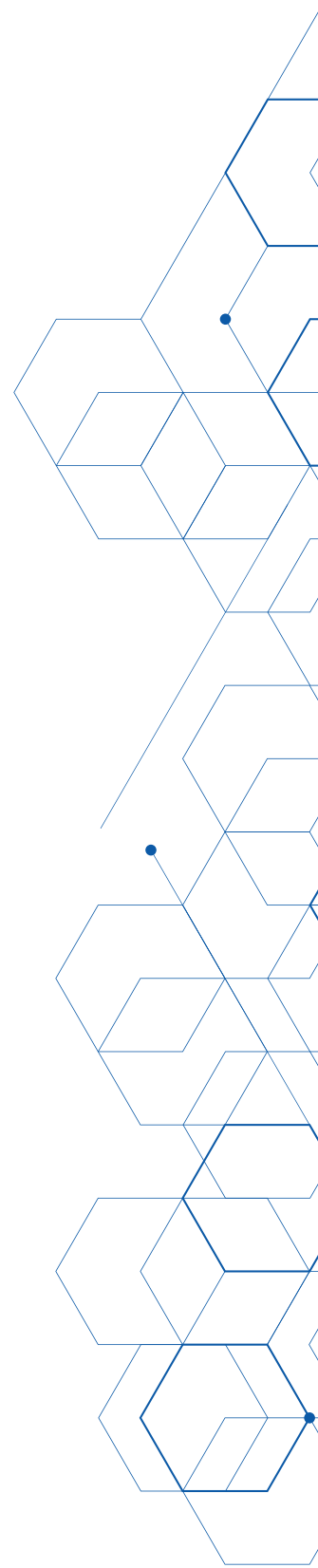


Figura 39: Exemplo de ciclone com centro (identificado com a letra C) imediatamente a leste do Uruguai. No exemplo, a elipse mostra uma linha de instabilidade afetando os estados do Paraná e Mato Grosso do Sul, formada a partir de uma frente fria. Fonte: CPETEC/INPE.

Linhas de instabilidade, complexos convectivos, supercélulas e “ondas de leste”

São conjuntos de nuvens convectivas que podem estar alinhadas em forma de linhas (por isso o nome linha de instabilidade) ou em sistemas com forma mais arredondada, chamados de forma genérica como “complexos convectivos” ou “sistemas convectivos”.



Sua detecção se realiza seguindo o mesmo procedimento das nuvens convectivas, mas, devido a seu tamanho, têm um potencial maior para causar tempo severo, como chuvas torrenciais, rajadas fortes de vento, intensa atividade elétrica e ocasionalmente granizo. Esses sistemas apresentam uma velocidade maior de deslocamento em relação às frentes frias, podendo ser considerado uma velocidade de referência de 50km/h.

De fato, em muitas ocasiões as linhas de instabilidade se formam sobre a frente fria, mas começam a se deslocar mais rapidamente até formar um sistema meteorológico separado. As rajadas de vento associadas podem chegar aos 100km/h ou ainda superar essa intensidade.

Estudos feitos em túneis de vento mostraram que acima dos 100km/h os ventos podem provocar destelhamentos e quedas de árvores, postes e torres de energia. No exemplo abaixo, a elipse amarela mostra uma linha de instabilidade afetando os estados do Paraná e Mato Grosso do Sul formada a partir de uma frente fria.

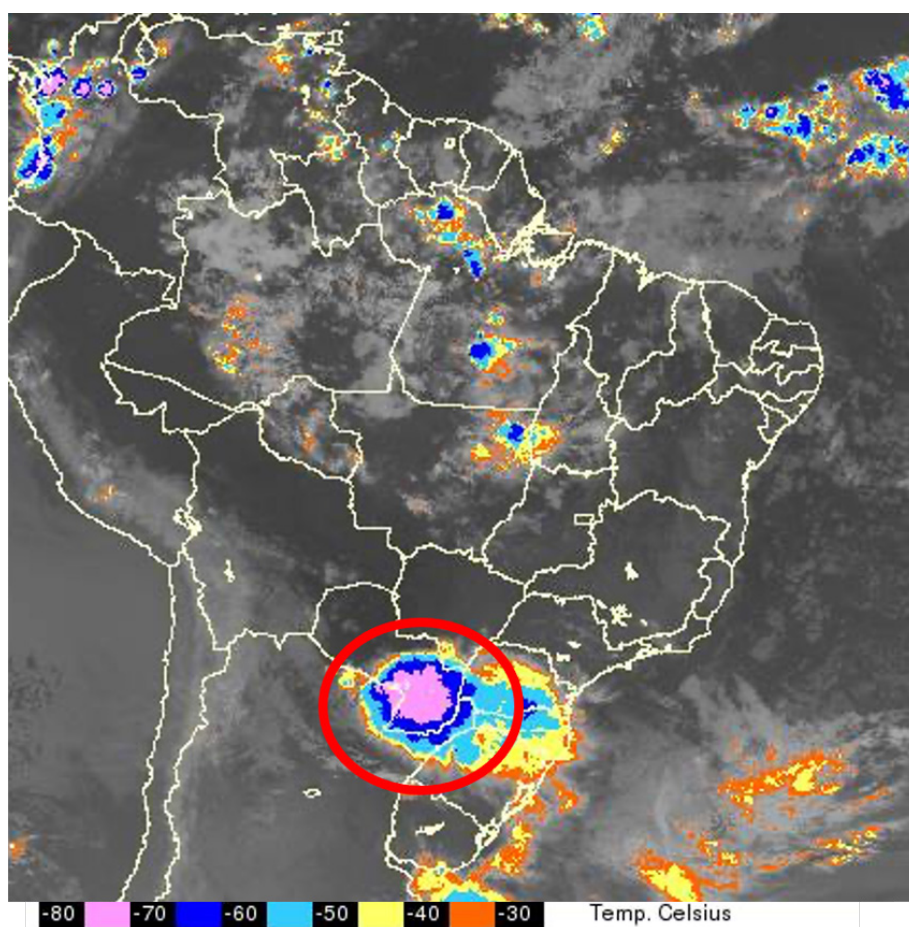


Figura 40: Exemplo de complexo convectivo sobre o Paraguai influenciando o tempo nos estados do sul do país, identificado a partir de uma imagem de topos realçados. Fonte: CPTe-INPE.

Os “complexos convectivos” se diferenciam das linhas de instabilidade por serem mais circulares e apresentarem velocidade de deslocamento mais baixa. Estes sistemas não necessariamente estão associados às frentes frias, e demonstram menor atividade elétrica e rajadas de vento, usualmente, menos intensas. Contudo, eles revelam taxas de chuva muito elevadas e, por apresentarem um deslocamento mais lento e um tamanho maior, podem gerar acumulados pluviométricos totais muito elevados, podendo causar grandes prejuízos e sérios impactos para a população.

As supercélulas são nuvens convectivas de grandes dimensões horizontais que produzem as tempestades mais severas, capazes de produzir intensa chuva, ventos fortes, granizo e algumas vezes até a formação de tornados. Elas são mais facilmente identificadas a partir das imagens de radar, onde podem aparecer como uma única célula com intensos valores de refletividade, muitas vezes em forma de “feijão”, e com tamanhos que podem variar entre 30-60km.

Esse tipo de tempestade costuma durar muitas horas, com o qual é muito importante rastrear seu movimento, e prever as áreas que poderá atingir, a partir da animação das imagens de radar.

Nas imagens de radar também podemos identificar os chamados sistemas convectivos de mesoescala, os quais são conjuntos de nuvens de grande desenvolvimento vertical com altos valores de refletividade, geralmente apresentando elevados valores de precipitação, circundados por nuvens com baixos valores de refletividade e baixa intensidade de precipitação.

Por serem sistemas de grande dimensão espacial e de longa duração são responsáveis por elevados acumulados de precipitação, além de estarem associados com intensos vendavais, granizo e descargas atmosféricas, podendo também apresentar a formação de tornados. Por isso, estão muitas vezes associados a grandes danos materiais nas regiões por onde passam.

Uma das principais características destes sistemas nas imagens de radar é o formato de “arco” da região com maior refletividade, localizado na parte dian-



teira. Este formato de arco está diretamente associado com o escoamento de vento dentro das nuvens no sentido de cima para baixo.

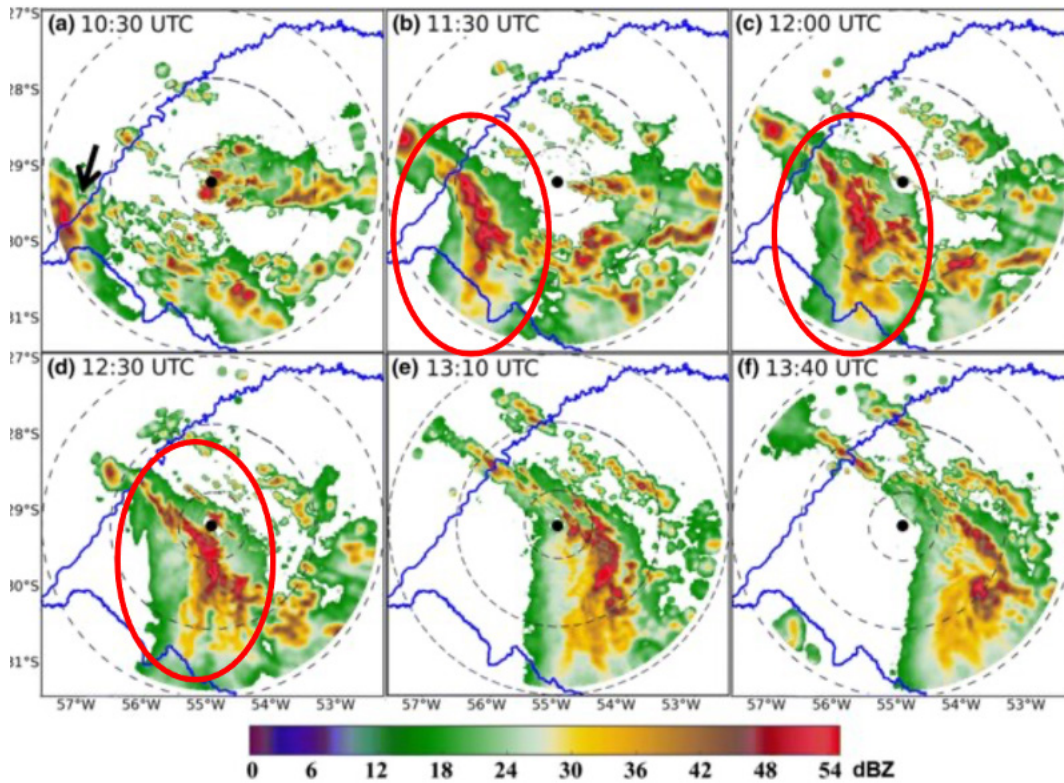


Figura 41: Exemplo de supercélula e da refletividade em formato de arco vista através de uma imagem de radar do dia 29 de maio de 2013 sobre o Sul do Brasil. Fonte: imagem retirada do artigo "Analysis of two derecho events in Southern Brazil".

As ondas de leste ocorrem durante a estação chuvosa no litoral da Região Nordeste. Em termos gerais, as chuvas da estação chuvosa dessa região ocorrem durante o período noturno, devido à condensação do ar que se produz quando o ar mais quente proveniente do oceano se aproxima do continente mais frio.

Entretanto, em algumas ocasiões, ocorrem chuvas mais intensas e volumosas provocadas por nuvens de maior espessura. São as chamadas "ondas de leste" ou "Distúrbios Ondulatórios de Leste" (DOLs) que se deslocam do mar em direção ao continente, apresentando usualmente um deslocamento muito lento e que podem ser facilmente identificadas a partir de imagens de satélite, especialmente nas imagens de topos realçados, ou radar. Abaixo, vemos dois exemplos de distúrbios ondulatórios de leste detectados a partir de imagens infravermelhas com topos de nuvens realçados.

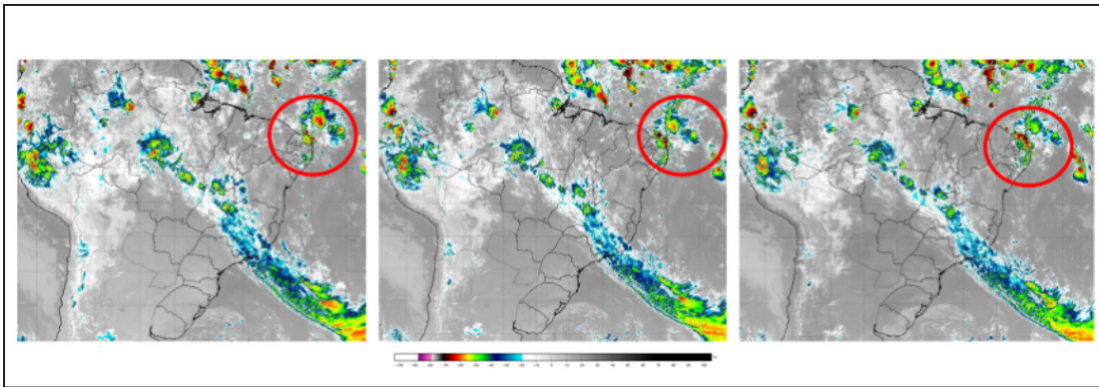


Figura 42: Exemplos de Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) em destaque no círculo vermelho observados em imagens de satélite do canal infravermelho com topos realçados. Fonte: CPTe-INPE.

Ondas de frio e calor

As ondas de frio inverniais são provocadas pela passagem de frentes frias que avançam muito rapidamente levando ar frio desde as latitudes altas, tipicamente desde o sul da Patagônia, até a Região Norte do Brasil. A detecção do sistema frontal é a mesma explicada anteriormente, só que nestes casos eles podem chegar até os estados de Acre, Rondônia, Mato Grosso e, às vezes, Amazonas. O maior perigo nestes casos é a possibilidade de mortes por hipotermia em moradores de rua ou em comunidades onde as baixas temperaturas são muito pouco frequentes.

No extremo oposto, as ondas de calor mais intensas ocorrem no semestre mais quente do ano, quando o céu permanece sem nebulosidade por muitos dias seguidos. Isso pode causar problemas à saúde como desidratação, ou ainda, problemas renais ou cardíacos. Nas imagens de satélite aparecem grandes áreas desprovidas de nebulosidade e com uma tonalidade muito escura nas imagens infravermelhas, o que significa temperaturas muito elevadas no solo.

Radar meteorológico

O radar meteorológico é um equipamento formado por uma antena, geralmente posicionada em uma torre, a qual emite um feixe de radiação ele-



tromagnética em diversas direções e alturas na atmosfera. Este feixe de radiação irá interagir com as gotículas de água e gelo presente nas nuvens, retornando como informação de posição e tamanho da nuvem para o radar.

Os radares, assim como os satélites meteorológicos, podem ser classificados como uma ferramenta de sensoriamento remoto da atmosfera, fornecendo informações sobre posicionamento e deslocamento das nuvens, além de estimativa de precipitação.

Por ser um instrumento localizado na superfície terrestre, fornece informações com melhor precisão espacial e temporal que o satélite, mas cobrem uma área de informação menor, geralmente com até 400 km de raio ao redor do radar. Alguns radares podem estar ajustados para enviar informações com frequência inferior a 5 minutos.

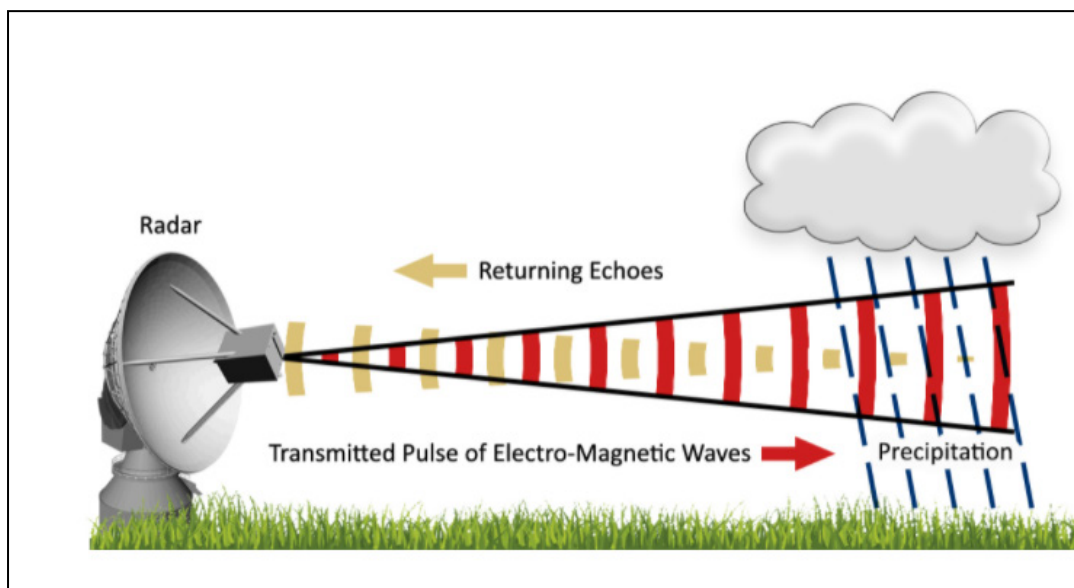


Figura 43: Ilustração sobre o funcionamento de um radar meteorológico. Fonte: Drishtiias.

Considerando que este tipo de equipamento mede o tamanho vertical e horizontal das nuvens, assim como seu deslocamento durante determinado período, ele torna-se extremamente útil e eficaz no monitoramento de tempestades. Em alguns casos, dependendo da informação que o radar consegue coletar do sistema meteorológico, torna-se possível a identificação de formação e ocorrência de tempestades “severas”.

Os radares meteorológicos realizam a estimativa de precipitação através da relação que existe entre a quantidade de radiação que a nuvem reflete de volta para a antena e a possível quantidade de água ou gelo presente na nuvem. A intensidade de radiação refletida pela nuvem é feita na unidade de decibéis de Z (refletividade), convencionalmente abreviada por dBZ.

Conhecida então a relação entre o valor de dBZ e a quantidade de água presente na nuvem, é possível, assim, estimar a taxa de precipitação que poderá ser observada sobre o local onde a nuvem está localizada. Esta estimativa de precipitação é então transformada em uma imagem em escala de cores referente aos valores de dBZ e sua direta relação com a taxa de precipitação em mm/h.

A escala de cores referente à refletividade dBZ pode variar de 5 dBZ até valores superiores a 75 dBZ. Valores baixos de refletividade indicam a presença de pouca água na nuvem e uma taxa de precipitação pouco intensa ou, às vezes, quase nula, apenas indicando a presença da nuvem sem precipitação.

Valores de refletividade superiores a 20 dBZ podem indicar a ocorrência de precipitação, enquanto valores superiores a 40-45 dBZ já indicam a possível presença de gelo na nuvem e a probabilidade de tempestades severas, potencialmente associadas a elevadas taxas de precipitação. Normalmente valores de refletividade iguais ou superiores a 60 dBZ indicam a presença de granizo.

Limitações

Por realizarem uma varredura basicamente horizontal da atmosfera, uma de suas limitações é observar a precipitação em regiões muito próximas da posição do radar, pois ele não consegue “olhar para cima”.

Em consequência, se houver um ponto de grande interesse para ser monitorado, recomenda-se a instalação do radar a algumas poucas dezenas de quilômetros, para evitar o que é conhecido como “cone cego”.



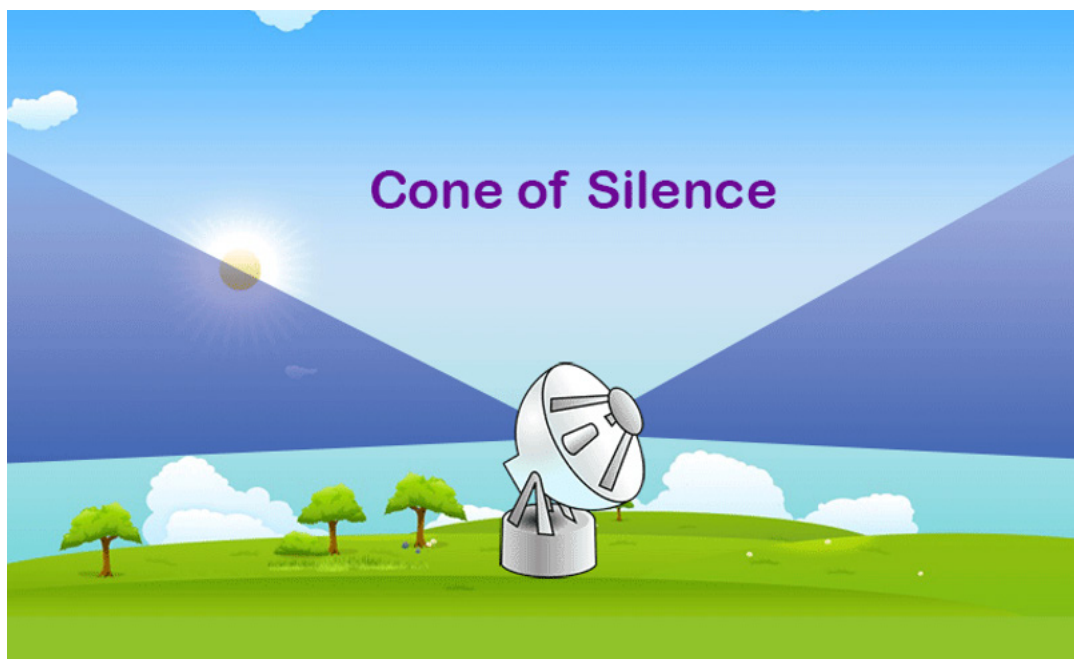


Figura 44: Imagem ilustrando o cone cego do radar meteorológico. Fonte: dtn.

Por outro lado, se a área em questão está muito distante, por exemplo, além dos 250-300 km de distância, o radar também terá dificuldade para observar com boa precisão, especialmente se houver nuvens a diferentes distâncias do radar. Nesse caso, aquelas mais distantes não serão capturadas com boa precisão. Em termos gerais, o melhor raio de ação de um radar está compreendido entre os 50 e 250 km de distância.

No entanto, é também necessário levar em conta as características topográficas da região, pois se houver montanhas o radar não será capaz de observar através delas. Inclusive, a presença de objetos muito próximos como prédios muito altos ou antenas poderia gerar “ruído” nas imagens.

Por fim, uma última limitação muito comum é a presença de nuvens atrás de outras com grande elevação na vertical, além da presença de gelo e chuva intensa. Nesses casos, a nuvem posicionada na frente irá servir como uma barreira para o radar, retornando praticamente toda informação para o radar e não informando sobre a presença de outra nuvem posicionada logo adiante.

Utilização do radar para o monitoramento meteorológico

O radar meteorológico é extremamente útil para acompanhar o desenvolvimento e evolução das tempestades, essencial para a antecipação de eventuais desastres naturais.

Além da intensidade da precipitação, o radar permite captar alguns “padrões” ou “desenhos” que as nuvens podem apresentar, indicando a provável presença de sistemas convectivos, tempestades severas, linhas de instabilidade e outros fenômenos com potencial destruidor.

Os sistemas convectivos podem se formar individualmente, como núcleos isolados sobre uma determinada região, mas também podem estar associados a sistemas frontais (frentes frias) e linhas de instabilidade.

Geralmente, uma tempestade severa se inicia com uma célula com um núcleo central de refletividade mais elevada, superior a 40 dBZ e valores menores ao seu redor.

Usualmente, quanto mais abrupta for a diferença de refletividade entre o núcleo e o seu redor, mais intensa poderá ser a tempestade, possivelmente com a presença de granizo e chuva forte.

A presença de granizo geralmente estará associada a tempestades severas e à presença de refletividade superiores a 60 dBZ. Considerando que granizo se forma nos níveis mais elevados da nuvem, onde a temperatura é menor, ao precipitar este granizo acaba derretendo, diminuindo assim seu tamanho e refletividade no radar.

Por essa razão, a probabilidade de queda de granizo é maior em presença de nuvens de grande altura e nas épocas e regiões mais frias, pois ele tem menor possibilidade de derreter antes de chegar ao solo.



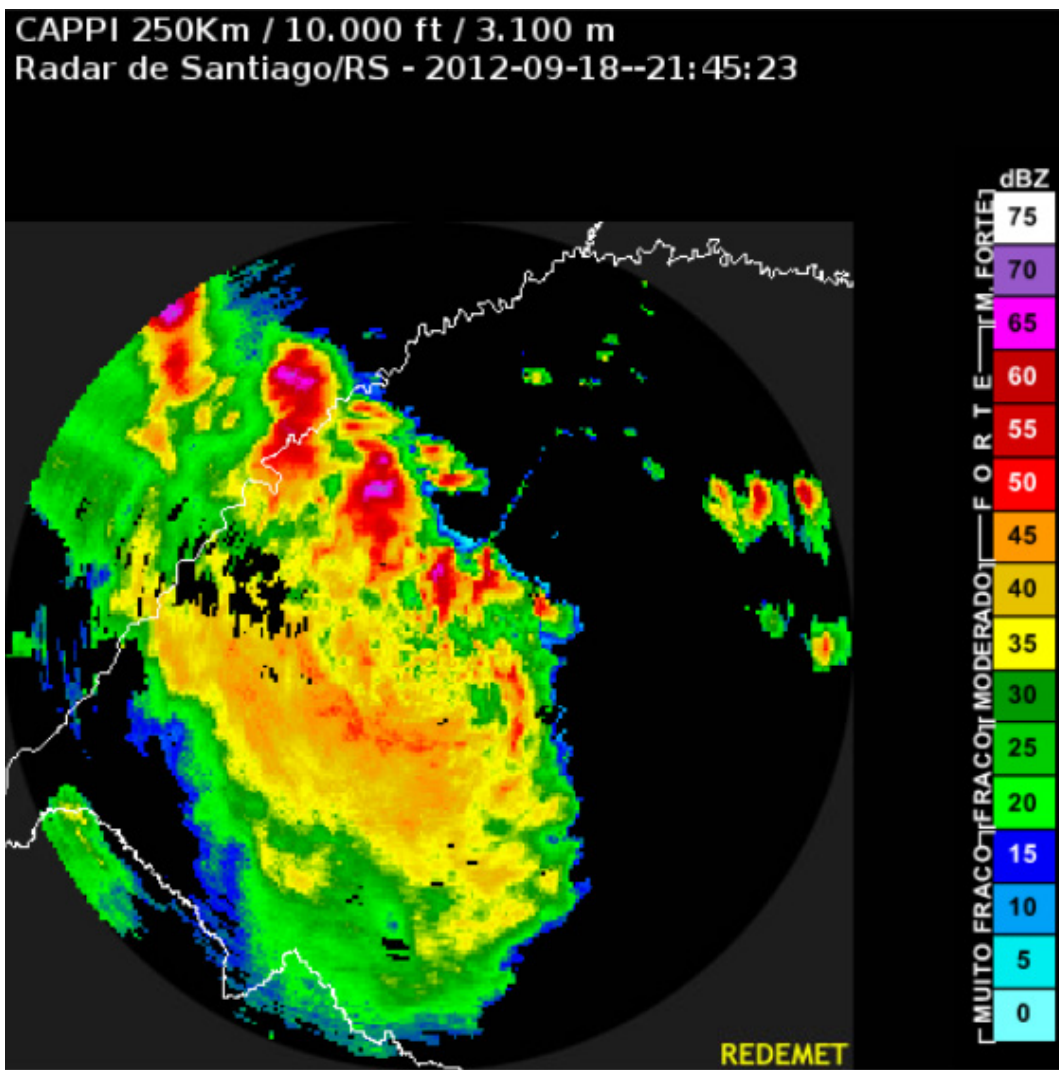


Figura 45: Imagem do radar de Santiago mostrando células de tempestade severa sobre o Rio Grande do Sul no dia 18/09/2012. Pode-se observar alguns pontos de refletividade do radar superiores a 60 dBZ indicando a presença de granizo. Fonte: Blog Vortex.

Tempestades isoladas

Uma tempestade isolada, muito comum no final da tarde na estação chuvosa, geralmente é formada por uma única nuvem cumulonimbus, que possui uma grande altura e costumam ser mais frequentes em grandes centros urbanos e regiões tropicais, com duração de poucas horas.

Este tipo de tempestade se forma rapidamente nas imagens de radar, apresentam formato quase circular e possuem um núcleo intenso de refletividade, não maior de 20 km.

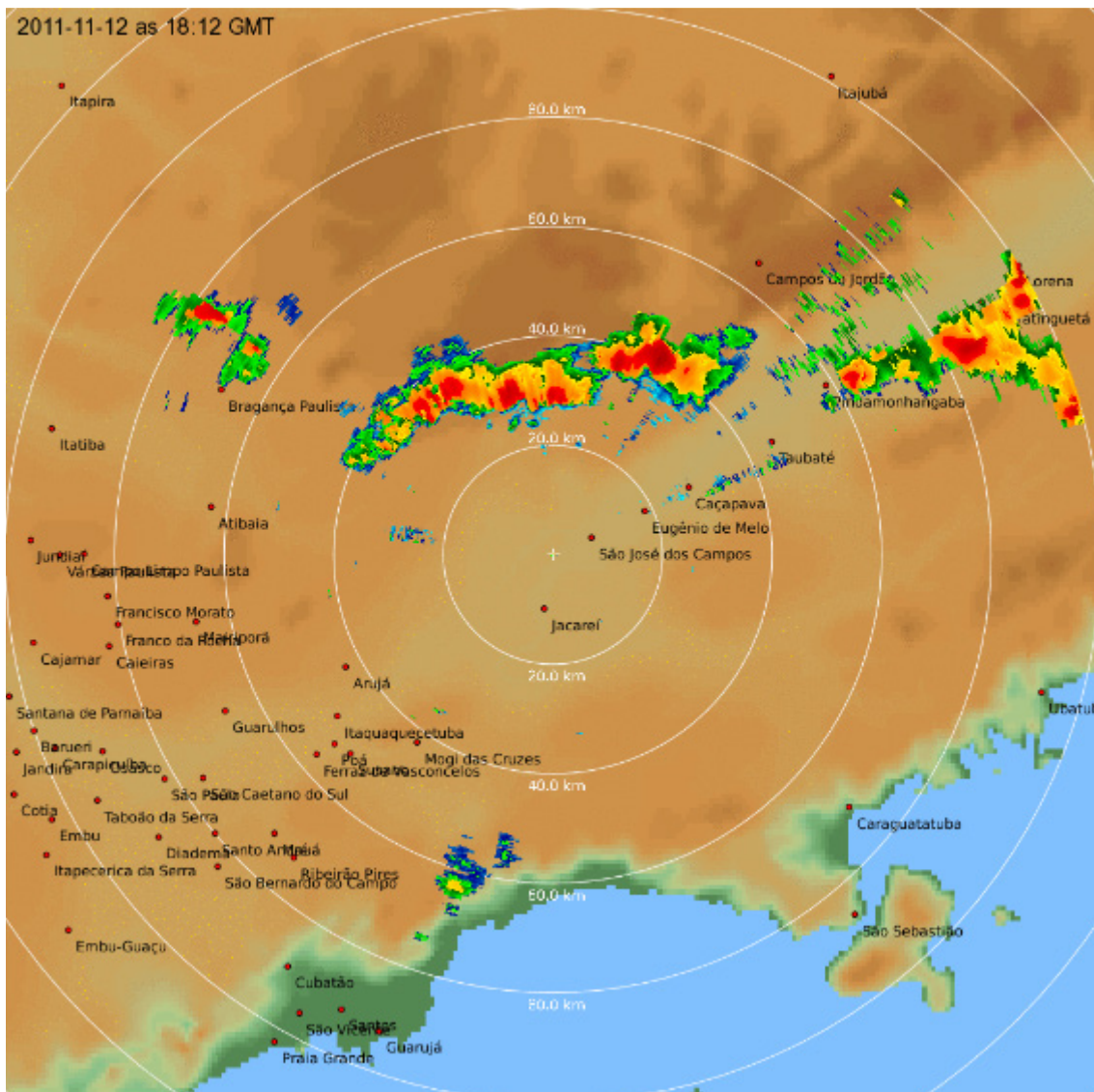


Figura 46: Imagem do radar do projeto Chuva em São José dos Campos indicando a presença de tempestades isoladas sobre a serra da Mantiqueira no dia 12/11/2011 às 18:12 GMT. Fonte: INPE.

Supercélulas

As supercélulas produzem as tempestades mais severas, capazes de produzir intensa chuva, ventos fortes, granizo e algumas vezes até a formação de tornados. Nas imagens de radar podem aparecer como uma única célula com intensos valores de refletividade, muitas vezes em forma de “feijão”, e com tamanhos que podem variar entre 30-60km. Esse tipo de tempestade costuma durar muitas horas, com o qual é muito importante rastrear seu movimento,

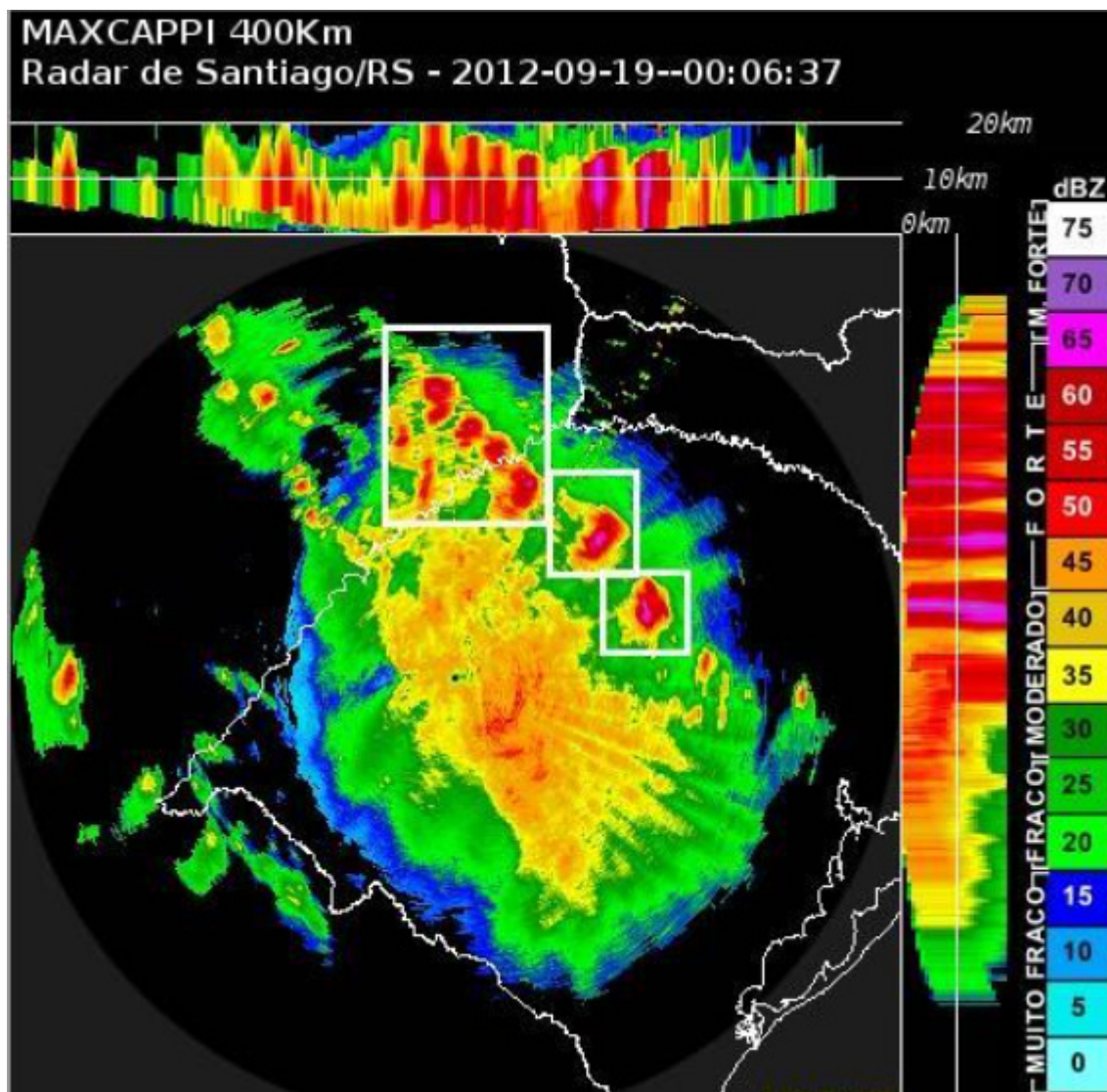


Figura 47: Sistema convectivo com presença de supercélulas no oeste do RS observado a partir do radar de Santiago no dia 19/09/2012. Fonte: Blog Vortex.

Sistemas convectivos de mesoescala

Os sistemas convectivos de mesoescala consistem em conjuntos de nuvens de grande desenvolvimento vertical com altos valores de refletividade, geralmente apresentando elevados valores de precipitação, circundados por nuvens com baixos valores de refletividade e baixa intensidade de precipitação.

Por serem sistemas de grande dimensão espacial e longa duração são responsáveis por elevados acumulados de precipitação, além de estarem associados com intensos vendavais, granizo e descargas atmosféricas, po-

dendo também apresentar a formação de tornados. Por isso, estão muitas vezes associados a grandes danos materiais nas regiões por onde passam.

Uma das principais características desses sistemas nas imagens de radar é o formato de “arco” da região com maior refletividade, localizado na parte dianteira. Este formato de arco está diretamente associado com o escoamento de vento dentro das nuvens no sentido de cima para baixo.

Descargas Elétricas Atmosféricas

As descargas atmosféricas, mais conhecidas popularmente como raios e relâmpagos, são fenômenos que ocorrem na atmosfera e estão relacionadas com a eletrificação das nuvens de tempestade.

O conhecimento da ocorrência de descargas atmosféricas em tempo real é possível através de sensores instalados na superfície da Terra que conseguem captar um campo eletromagnético causado pelo raio, seja quando ele atinge o solo ou quando ocorre no interior das nuvens.

Embora o acompanhamento das descargas elétricas não configure estritamente uma metodologia para estimativa da precipitação, normalmente a ocorrência de núcleos com uma alta quantidade de descargas elétricas está relacionada a tempestades mais intensas, com taxas de precipitação elevadas.

As imagens sucessivas permitem rastrear o deslocamento das tempestades e, portanto, estimar as regiões por onde irá passar nos próximos minutos/horas. Uma das grandes vantagens desse tipo de informação é que possuem abrangência nacional e disponibilidade em tempo quase real.



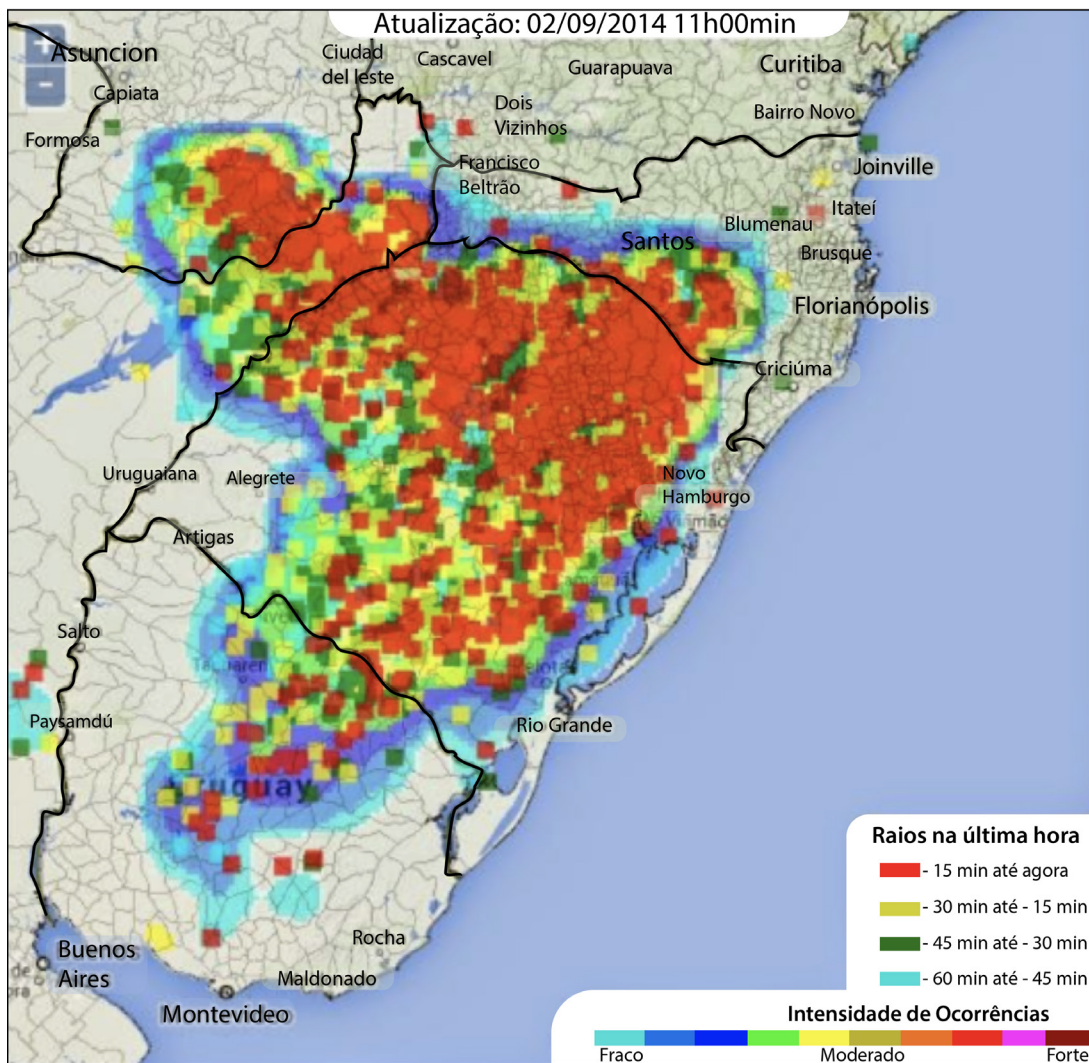


Figura 48: Ocorrência de descargas atmosféricas 02/09/2014 sobre o Rio Grande do Sul observadas a partir dos sensores do projeto RINDAT. Os pontos coloridos representam o tempo da última ocorrência do raio e o sombreado a intensidade de ocorrência de raios sobre a região. Fonte: RINDAT.

Modelos de previsão numérica de Tempo e Clima

Os modelos de previsão numérica de tempo e clima são hoje uma das principais ferramentas disponíveis para previsão meteorológica, fundamental para antecipar a provável ocorrência de desastres hidrometeorológicos.

Os modelos meteorológicos trabalham com as equações físicas que descrevem o comportamento da atmosfera como, por exemplo, o escoamento do ar (ventos) e a formação de nuvens e chuva. Essas equações, quando resolvidas através de métodos matemáticos, possibilitam saber como a atmosfera irá se comportar para prazos de tempo de dias (tempo) ou meses (clima).

Sendo que as equações que descrevem o comportamento da atmosfera são extremamente complexas, e que a previsão meteorológica envolve um imenso volume de dados, a execução de modelos numéricos precisa de computadores poderosos e, para o caso das previsões de clima, de supercomputadores.



Figura 49: Supercomputador Tupã. Fonte: INPE.

Nos dias de hoje, com o avanço dos computadores e com a observação global da atmosfera por meio de satélites, as previsões possuem uma taxa de acerto de aproximadamente 90% para períodos de até 3 dias. Contudo, ainda hoje muitos dos processos atmosféricos não conseguem ser totalmente resolvidos pelos modelos e, por isso, precisam ser simplificados, reduzindo assim a possibilidade de acerto.

Em particular, os modelos indicam de forma relativamente eficiente se há possibilidade de chuva, mas apresentam dificuldade para prever sua intensidade e o valor total acumulado, assim como prever com detalhe as regiões potencialmente atingidas. Outro ponto que determina a qualidade da previsão é a quantidade e qualidade dos dados observados na atmosfera, tanto na superfície como nos altos níveis, que compõem as “condições iniciais” da atmosfera, ou seja, o ponto de partida da previsão, e funcionam como “combustível” dos modelos numéricos.

Existem diversas formas para acesso aos dados de modelos de previsão e, grande parte delas, consistem em mapas de uma determinada variável, como pressão atmosférica, temperatura ou precipitação. Se considerarmos como exemplo a chuva, os modelos irão disponibilizar mapas de valores acumulados para um determinado período de tempo, geralmente mostrando os valores em unidade de milímetros (mm) nas diferentes regiões.

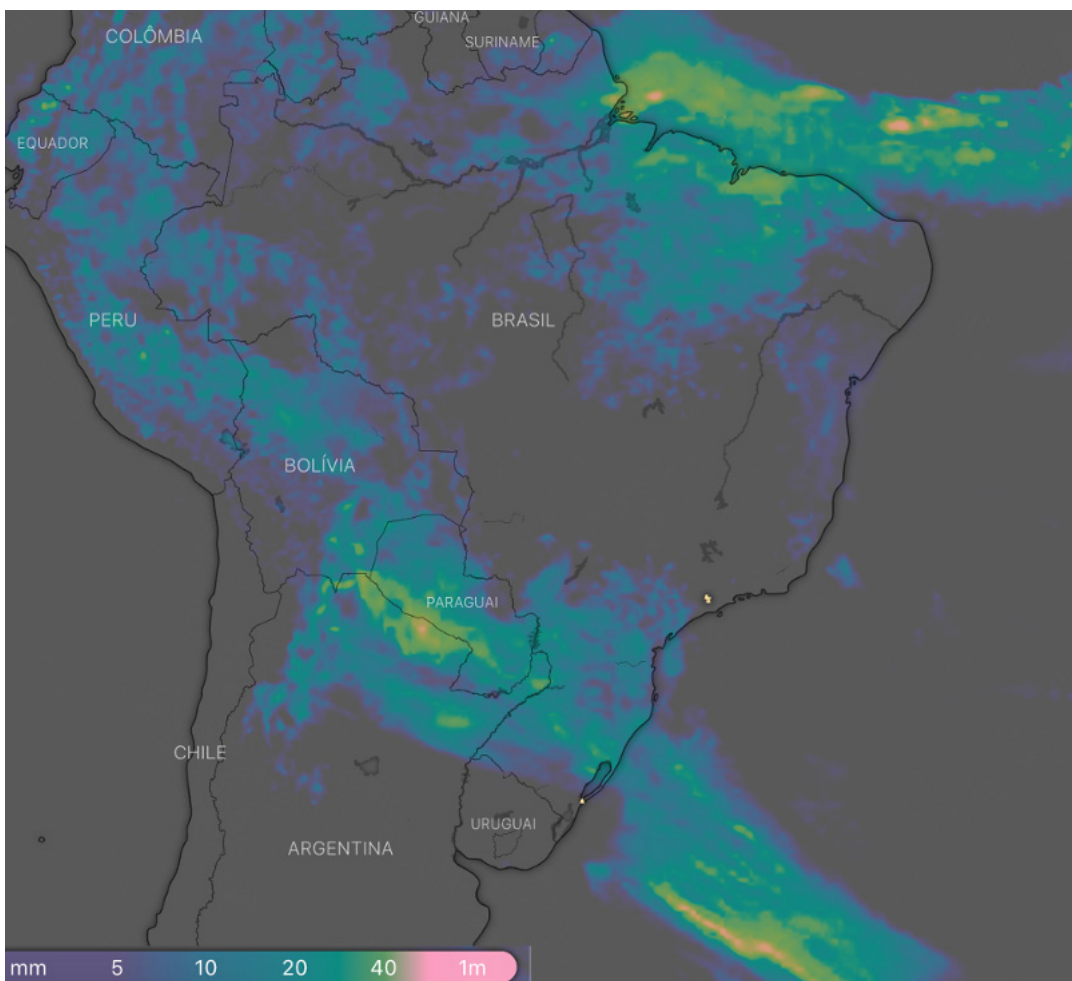
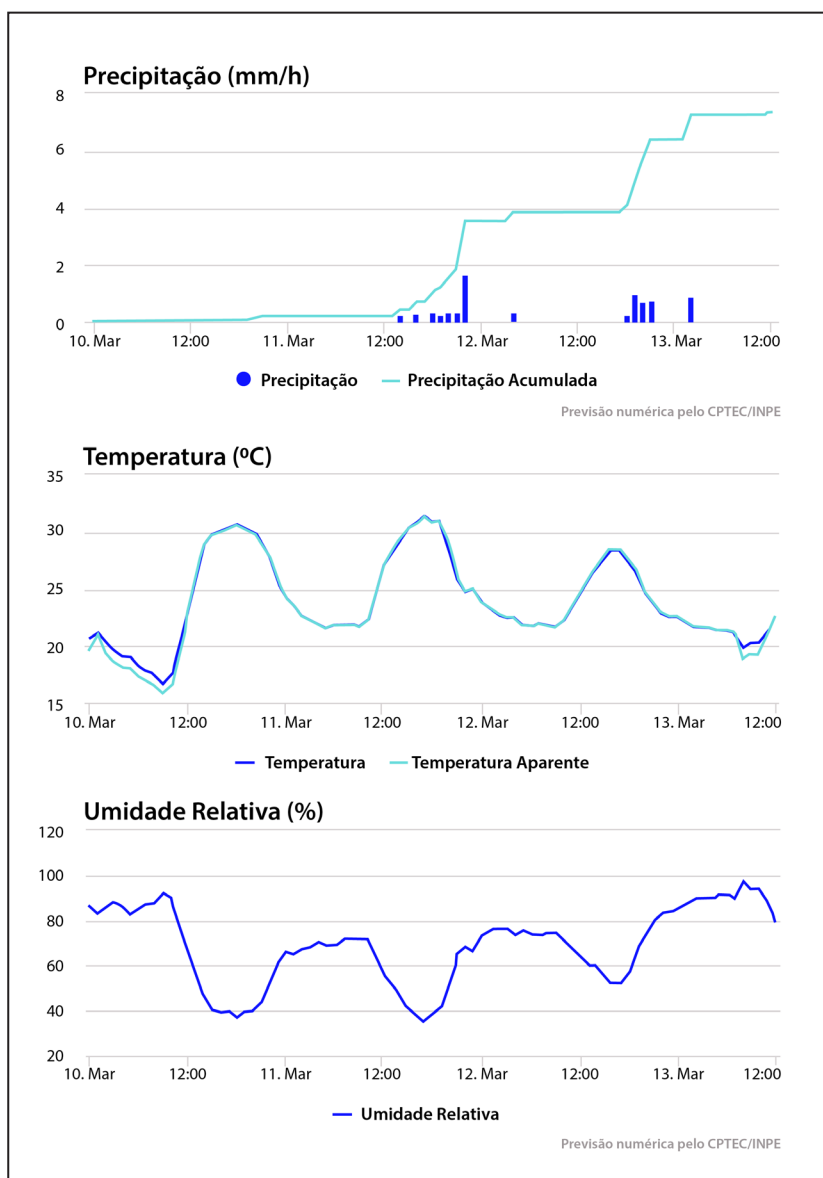


Figura 50: Mapa de precipitação prevista para as próximas 24 horas no dia 10/03/2022. A escala de cores na parte de baixo indica a quantidade de precipitação prevista em mm. Fonte: Windy.

Também estão normalmente disponíveis os “meteogramas”, ou seja, figuras com a evolução ao longo dos dias de um conjunto de variáveis meteorológicas que mais impactam a população (temperatura, chuva, nebulosidade, umidade, vento, etc) para um ponto específico como, por exemplo, uma cidade.

As previsões de precipitação para períodos de tempo que podem variar de 1 hora até períodos maiores de até 7 dias são essenciais para a atuação da Defesa Civil. Contudo, é necessário lembrar que os modelos realizam previsões que, em muitos casos, podem não se verificar.

Em particular a confiabilidade dos modelos é maior nas primeiras 24-48hs, decaindo progressivamente para prazos mais longos. Além disso, os modelos apresentam dificuldade para prever as chuvas mais intensas, com o qual se recomenda sempre procurar a opinião dos especialistas.



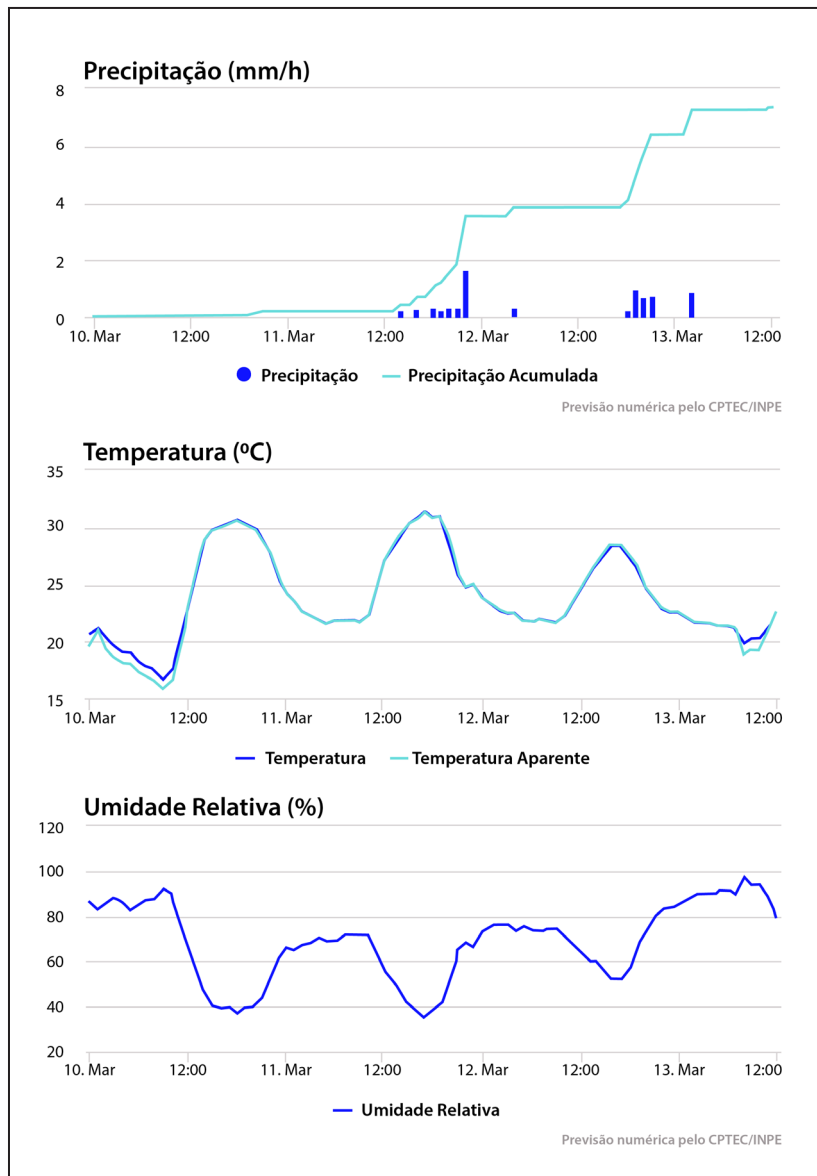


Figura 51: Exemplo de previsão em forma de meteograma para a cidade de São Paulo.
Fonte: MCTI/INPE/CPTEC.

Ferramentas básicas para o monitoramento meteorológico

Nas seções anteriores foram descritas as principais ferramentas para acompanhamento e previsão meteorológica, importantes para as atividades de prevenção e preparação de um eventual desastre. Existem muitos sites na

internet que podem disponibilizar essas ferramentas de forma pública e gratuita, tanto nacionais como do exterior.

A seguir são citados alguns deles:

Imagens de satélite:

- » satellite.inmet.gov;
- » satellite.cptec.inpe;
- » rammb.cira.colostate.edu
- » eumetview.eumetsat.int/mapviewer/;
- » redemet.aer.mil.br;
- » rammb-slider.cira.colostate.edu/;
- » .master.iag.usp.br.

Imagens de radar

- » redemet.aer.mil.br/;
- » cemaden.gov.br.
- » Descargas elétricas
- » inpe.br;
- » zeus.iag.usp.

Modelos numéricos

- » previsaonumerica2.cptec.inpe.br;
- » vime.inmet.gov.br/;
- » redemet.aer.mil.br/;



- » wxmaps.org;
- » master.iag.usp.br.

Existem também plataformas com vários desses produtos disponibilizados em forma simultânea como, por exemplo:

- » windy.com/;
- » satellite-map.gosur.com/.

Deve ser levado em conta que essas páginas podem mudar de endereço e que podem, eventualmente, estar indisponíveis.

Observação direta das nuvens

Além das ferramentas e metodologias citadas anteriormente, os sistemas convectivos potencialmente severos podem ser detectados a partir da observação direta das nuvens.

Durante as horas diurnas, esses sistemas meteorológicos se caracterizam por apresentar nuvens muito escuras, que por sua grande espessura não deixam passar os raios solares.

A base da nuvem, usualmente, se encontra relativamente perto do solo e a parte dianteira apresenta uma forma de linha ou borda bem definida, muitas vezes acompanhada de uma porção sobressalente, chamada “nuvem prateleira”.

As primeiras rajadas de vento e as precipitações costumam ocorrer no momento que a borda da nuvem se aproxima do observador. Abaixo, são mostrados exemplos de nuvens que formam parte de linhas de instabilidade ou de complexos convectivos.

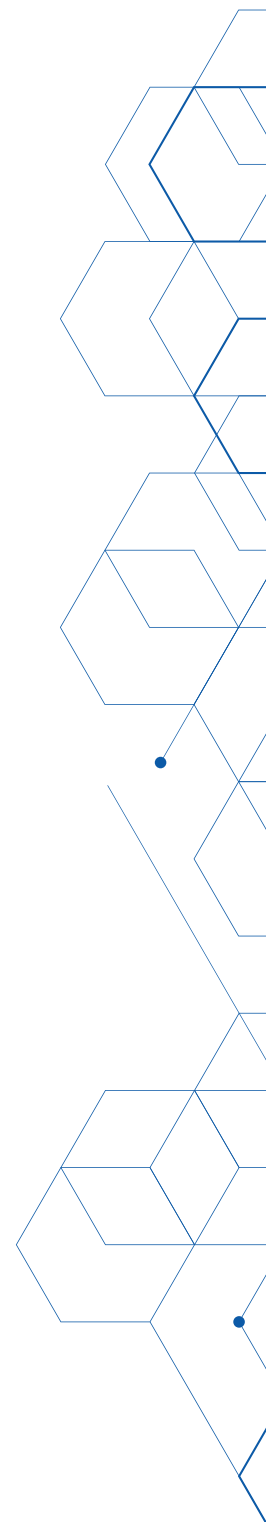




Figura 52: Exemplo de “nuvem prateleira”. Esse tipo de nuvem apresenta grande potencial para provocar tempo severo. Fonte: Freepik.

Em algumas ocasiões, como no exemplo abaixo, não é possível distinguir uma borda bem definida, característica dos sistemas severos, mas pode-se observar a precipitação caindo na base da nuvem. Quando isso é evidente, como na ilustração, significa que a nuvem está no momento de maior intensidade e produzindo altas taxas de precipitação.

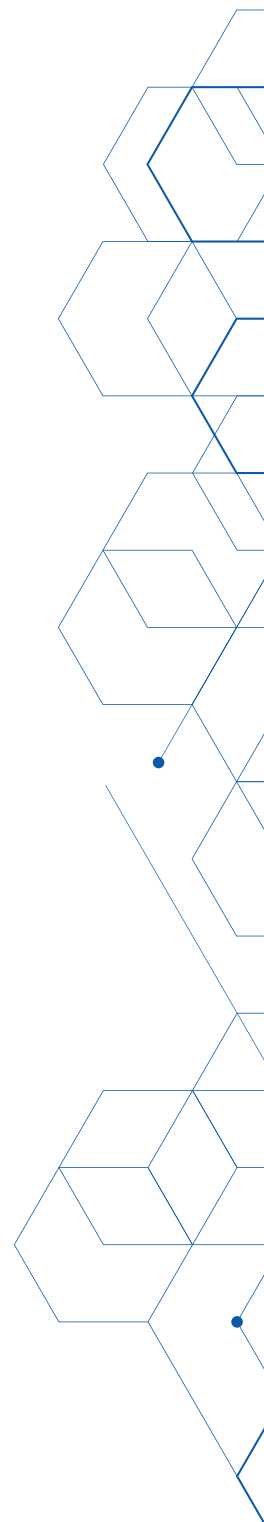
No período noturno, um sinal de severidade é a alta frequência de descargas elétricas. Quando elas são praticamente contínuas indica nuvens de grande espessura e forte presença de cristais de gelo, características associadas à ocorrência de chuva intensa, rajadas de vento e eventual queda de granizo.

A proximidade da tempestade pode ser indiretamente avaliada pelo tempo que demora a ser escutado o trovão depois da queda do raio (menor tempo indica uma tempestade mais próxima) e pelo volume do estrondo dos trovões.





Figura 53: Foto de tempestade com altas taxas de precipitação instantânea. A porção branca observada abaixo da base da nuvem corresponde à precipitação caindo em direção ao solo.
Fonte: Freepik.



**Aspectos técnicos dos extremos geo-hidrológicos
no país e as diferenças regionais**

3

**Extremos
geo-hidrológicos**

Construção de limiares para eventos geo-hidrológicos

A quantidade de precipitação que cai sobre um local ou uma região, geralmente é medida em volume por unidade de tempo (milímetros por hora, dia, mês ou ano), através de equipamentos chamados pluviômetros ou pluviógrafos. O volume em milímetros indica a quantidade de litros em 1 metro quadrado de área.

Um evento de precipitação passa a ser considerado extremo sob o ponto de vista de impactos geo-hidrológicos quando o volume de precipitação excede um determinado limite crítico em um certo espaço de tempo.

Conceito de extremos geo-hidrológicos sob o ponto de vista de limiares e volumes de precipitação

Para determinar qual o limiar crítico de precipitação capaz de deflagrar um impacto geo-hidrológico em uma região específica, é comum recorrer aos estudos de modelagem matemática em hidráulica e hidrologia (no caso de inundações, enxurradas e alagamentos), ou modelagem geodinâmica – no caso, os movimentos de massa. Trabalhos dessa natureza exigem dados que nem sempre estão disponíveis para todas as regiões ou locais a serem estudados.

O gráfico abaixo apresenta um exemplo, fruto de modelagem hidrológica, que correlaciona o volume de precipitação em função do tempo, indicando quatro situações (normal, alerta, emergência e crítico) para um bairro de Belo Horizonte (MG).



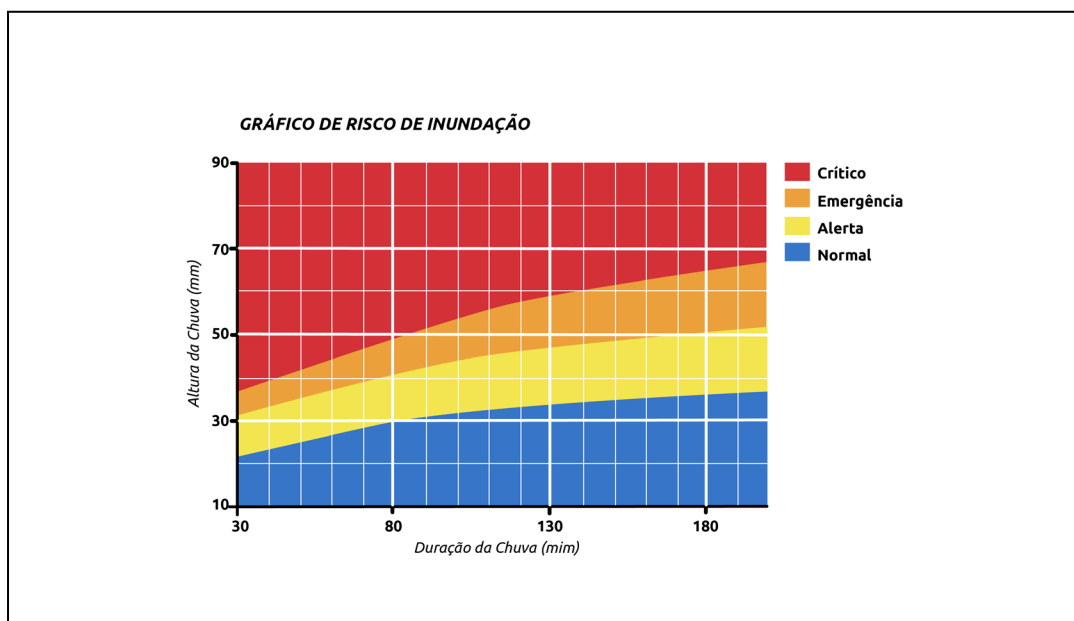


Figura 54: Risco de inundação do Córrego do Jatobá – área urbana de Belo Horizonte (MG), em função do volume acumulado de precipitação. Fonte: SMURBE – Secretaria Municipal de Políticas Urbanas.

Este tipo de produto é de fundamental importância para balizar o momento adequado de enviar um alerta à população, pois ele define de forma numérica o momento em que uma precipitação acumulada deixa de ser um evento corriqueiro, passando a ser um potencial causador de impactos para a população.

Banco de dados de ocorrência e a sua importância na construção de um sistema de monitoramento e alerta

No Brasil, dados históricos de precipitação ou vazão de rios são escassos para a aplicação de modelagem hidráulica e hidrológica, principalmente em regiões pequenas, suscetíveis a eventos como enxurradas e alagamentos.

Mapeamentos detalhados em escala local também não estão disponíveis na maioria dos municípios com histórico de ocorrência de eventos geo-hidrológicos. Porém, é possível recorrer à correlação direta entre o histórico de ocorrências de eventos geo-hidrológicos em função dos acumulados de preci-

pituação do local para definir limiares de precipitação capazes de representar níveis de alerta para a população. Um banco de dados de ocorrências é um cadastro organizado do histórico de ocorrências, geralmente identificado por municípios, e pode ser utilizado em duas situações:

Na primeira situação, é feita a associação das ocorrências diretamente com os acumulados de precipitação, para construir uma correlação entre acumulado de precipitação em função dos impactos, obtendo assim, os limiares a serem utilizados em um sistema de alertas. Portanto, com o conhecimento dos valores de precipitação (horária e acumulada) e os dados de ocorrência do evento, ou seja, tipo do processo, magnitude (volume de material), impacto, entre outros é possível separar por zonas ou faixas quais processos são esperados dentro desses intervalos.

Vale ressaltar que, por vezes, tais zonas são definidas para processos de dinâmica natural e, portanto, valores mais conservadores são tomados por conta da possibilidade de deflagração desses processos, principalmente os deslizamentos, por conta de fatores antrópicos (alterações causadas pelo homem sobre o local). O gráfico a seguir representa o exemplo de um conjunto de eventos de deslizamentos em função da precipitação acumulada entre 24 e 84 horas para a região de São Paulo (SP).

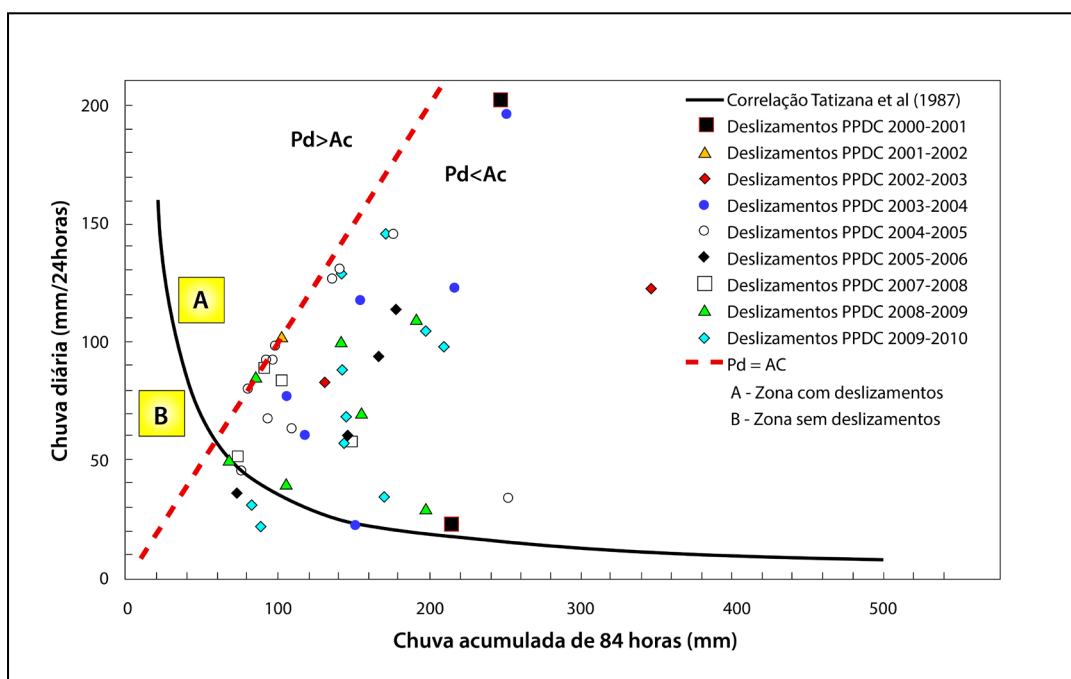


Figura 55: Gráfico de chuva diária (Pd) versus chuva acumulada em 84 horas (Ac) e deslizamentos ocorridos no âmbito do PPDC (Plano Preventivo de Defesa Civil em São Paulo - SP) para o período de 2000 a 2010. Fonte: Sidec/SP.

Esse tipo de gráfico permite definir um limiar crítico de precipitação acumulada em um dia que, associado às condições antecedentes de umidade do solo (acumulado em 84 horas), pode causar impactos à população. Para o aprofundamento deste tema, indica-se a leitura do material produzido no Módulo 7.

A segunda situação é quando um banco de ocorrências também pode ser utilizado para refinar um modelo matemático no intuito de incluir os fatores associados às alterações causadas pelo homem sobre o local (ações antrópicas), pois nem sempre é possível incluir nos modelos matemáticos, elementos como a alteração do terreno através de cortes, ou aterros, acúmulo de lixo em tubulações, etc.

Precipitação: intensidade, duração e frequência

Um evento de precipitação pode durar desde alguns minutos até mesmo dias. Geralmente chuvas fortes não duram muito tempo e, por este motivo, ao avaliarmos o comportamento da chuva, existem três características fundamentais que definem a magnitude do evento, sendo elas:

- » a intensidade;
- » a duração; e
- » a frequência da precipitação.

Ao citar uma chuva forte, moderada ou fraca, estamos nos referindo à intensidade (ou taxa) da precipitação. A intensidade refere-se ao volume (altura) de precipitação em função do tempo. O quadro 2 apresenta a classificação da intensidade de precipitação adotada pelo Sistema de Alerta da Prefeitura do Rio de Janeiro (RJ).

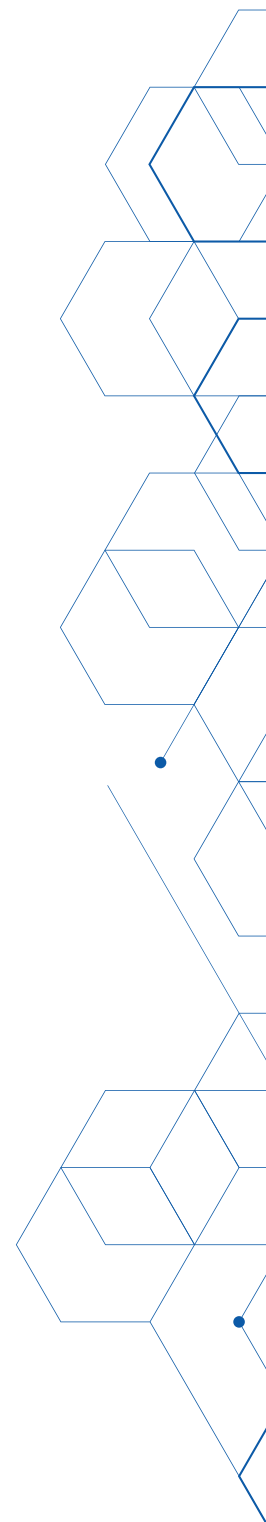


Tabela de classificação da intensidade de precipitação adotada pelo Sistema de Alerta da Prefeitura do Rio de Janeiro (RJ)

Precipitação	Intensidade
CHUVA FRACA	- Precipitação cuja intensidade é menor que 5,0 e 25 mm/h.
CHUVA MODERADA	- Precipitação cuja intensidade está compreendida entre 5,0 e 25 mm/h.
CHUVA FORTE	- Precipitação cuja intensidade está compreendida entre 25,1 e 50 mm/h.
CHUVA MUITO FORTE	- Precipitação cuja intensidade é maior do que 50,0 mm/h.

Quadro 2: Classificação da intensidade da intensidade de precipitação adotada pelo Sistema de Alerta da Prefeitura do Rio de Janeiro. Fonte: Adaptado do Sistema de Alerta da Prefeitura do Rio de Janeiro (RJ).

A duração é o tempo decorrido entre o início e o fim da precipitação, sendo que, durante este período, a precipitação geralmente varia de intensidade. Para melhor entendimento, imagine uma chuva com duração de 30 minutos, iniciando-se de forma fraca; alguns minutos depois, aumentou a intensidade para forte e terminou de forma moderada, totalizando 40 mm.

Apesar desta chuva ter variado ao longo da sua duração, se considerarmos que precipitou 40mm em 30 minutos, isto significa dizer que tivemos um evento de chuva muito forte, pois mantendo-se esta condição, em 1 hora teria chovido 80 milímetros.

Por fim, a frequência com que um evento de precipitação (com intensidade e duração específica) ocorre, determina o quão corriqueiro ele é para a região. Chuvas em forma de pancadas (muito intensas) são muito mais frequentes na região Norte do país do que no Sul; isto ocorre em função dos sistemas de tempo que atuam ao longo do ano em cada região e, normalmente, as estruturas do meio urbano (bueiros, pontes, etc.) são dimensionadas em função destas variações regionais.

Pode-se agregar a intensidade, a duração e a frequência da precipitação, através da construção das chamadas Equações de Chuvas Intensas,



tais equações foram determinadas para várias regiões do Brasil a partir séries históricas de precipitação. A partir das Equações de Chuvas Intensas é possível obter as curvas IDF (Intensidade – Duração – Frequência), muito utilizadas para determinar a chuva máxima provável em projetos de engenharia.

Para compreender as aplicações das curvas IDF é necessário conhecer o conceito de Período de Retorno ou Tempo de Recorrência (TR). A magnitude de uma enchente é muitas vezes apresentada em função da probabilidade de ser igualada ou superada (GENOVEZ, 2016).

O inverso dessa probabilidade é conhecido como período de retorno. Assim, se uma precipitação com intensidade de 50mm/h tem TR de 5 anos significa que ela pode ocorrer ou ser superada 1 vez a cada 5 anos. Quanto maior a magnitude de um evento geo-hidrológico, maior o seu TR.

O gráfico a seguir apresenta as curvas IDF para a cidade de São Paulo (SP) para precipitações com TR de 2, 5, 10, 20 e 50 anos.

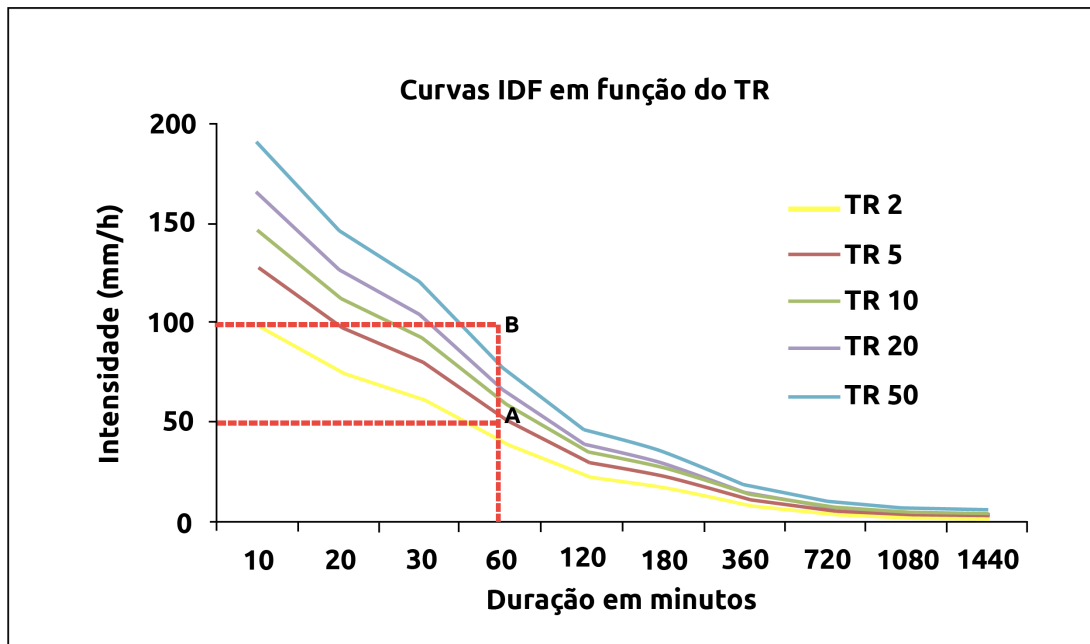


Figura 56: Curvas IDF em função do período de retorno para a cidade de São Paulo (SP). Fonte: Departamento de águas e Energia Elétrica de São Paulo – DAEE, 1999.

Nos pontos A e B indicados no gráfico da figura 56, observa-se que uma precipitação com intensidade de 50mm/h (50 milímetros em 60 minutos) tem um TR próximo de 5 anos. Já uma precipitação de 100 mm/h (100 milíme-

tros em 60 minutos) é muito menos frequente, com TR ultrapassando os 50 anos. Dessa forma, as curvas IDF também podem ser utilizadas para definir a magnitude de um evento geo-hidrológico. Neste caso, o TR passa a ser adotado como limiar crítico do evento.



Aspectos técnicos dos extremos geo-hidrológicos no país e as diferenças regionais

4



**A dinâmica das
bacias hidrográficas**

Introdução e conceitos

Uma bacia hidrográfica (ou simplesmente “bacia”) é uma depressão na superfície da Terra, resultado de processos geológicos e do intemperismo de milhares de anos. Para entender melhor, podemos imaginar uma banheira, em que as bordas representam seus limites e o ralo representa o ponto de saída do escoamento da água. Toda a água que cai dentro da banheira escoar sobre suas paredes em direção ao ralo. Se considerarmos um ponto sobre o trecho de um rio, toda a água que vem das partes altas está a montante deste trecho, assim como a água que já passou pelo trecho está a jusante.

A bacia é uma área drenada por um rio e todos os seus afluentes. Uma bacia é composta por muitas sub-bacias hidrográficas diferentes. Cada rio faz parte de uma rede hidrográfica que constitui toda a drenagem de um sistema fluvial. Toda a água da bacia de drenagem flui abaixo (jusante) em direção a rios maiores ou **mar**

Ver National Geographic

<https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/basin/>

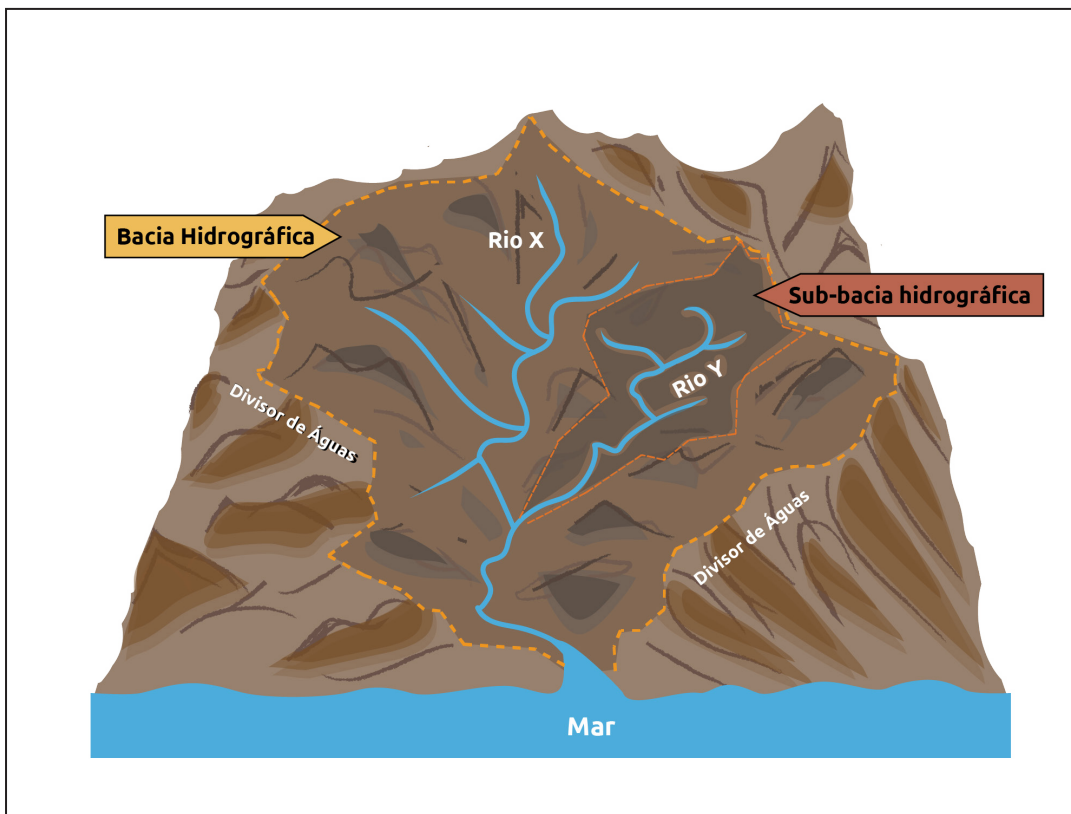


Figura 57: Representação de uma bacia hidrográfica e suas sub-bacias. Fonte: Freitas (2015).

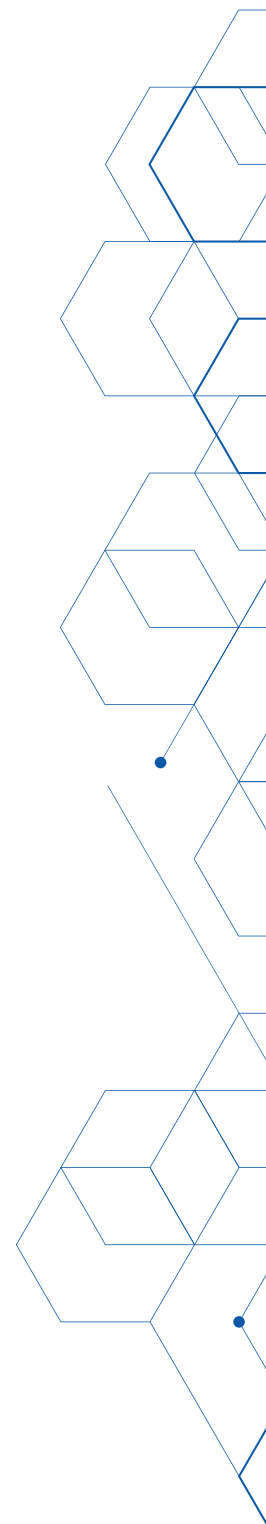
Características físicas das bacias hidrográficas

Influência das características físicas das bacias hidrográficas no comportamento do escoamento de rios e canais

Quando chove dentro de uma bacia hidrográfica, o nível do rio sobe, aumentando sua vazão para escoar a água da chuva. Depois de um determinado tempo, o nível volta ao seu estado normal, caso não chova novamente. Esta dinâmica de elevação e posteriormente a diminuição (recessão) da vazão, pode ocorrer de forma brusca ou gradual; pode levar alguns minutos, horas ou dias, dependendo das características da bacia hidrográfica e também da precipitação. O gráfico que representa a dinâmica de variação do nível (ou vazão) do rio em função do tempo chama-se hidrograma.

O hidrograma da vazão do rio em uma determinada seção do canal depende das diferentes combinações de intensidade e duração da chuva na bacia, assim como para chuvas idênticas, se a condição antecedente de umidade do solo variar. Além das características espaciais e temporais das chuvas, as características físicas da bacia hidrográfica também controlam a forma do hidrograma de escoamento.

A figura 58 mostra o hidrograma do Ribeirão Capivari na estação hidrológica do Cemaden em Campos do Jordão no dia 8 de março de 2017, mostrando uma enxurrada, enquanto na figura 59 se observa o hidrograma do rio Madeira em Porto Velho relativo ao ano de 2021.



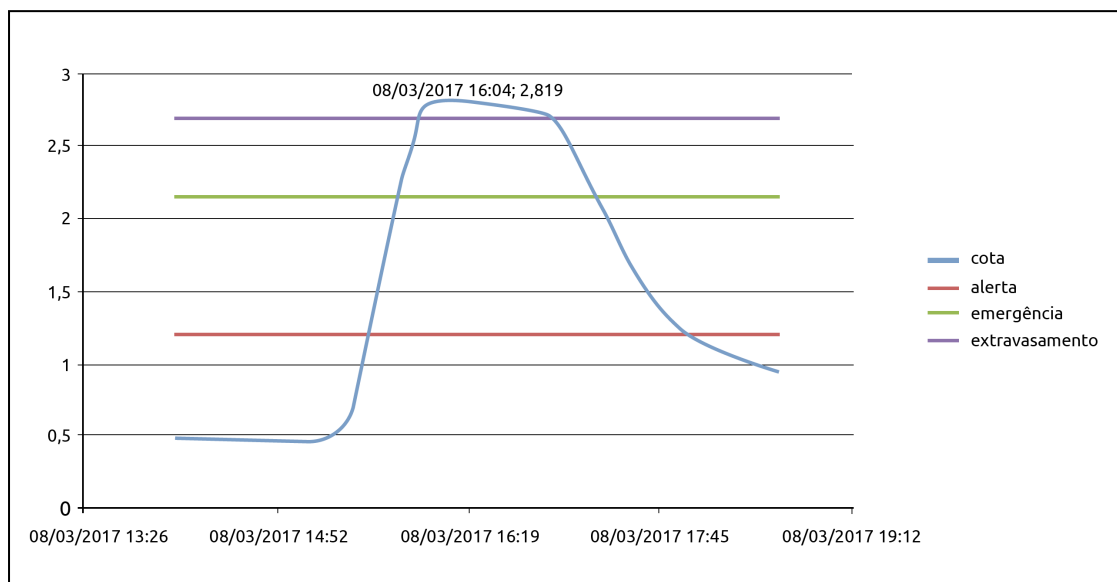


Figura 58: Hidrograma do ribeirão Capivari na estação hidrológica de Campos do Jordão no dia 9 de março de 2017, resultante de um evento de chuva na bacia do ribeirão Capivari. Fonte: CPRM.

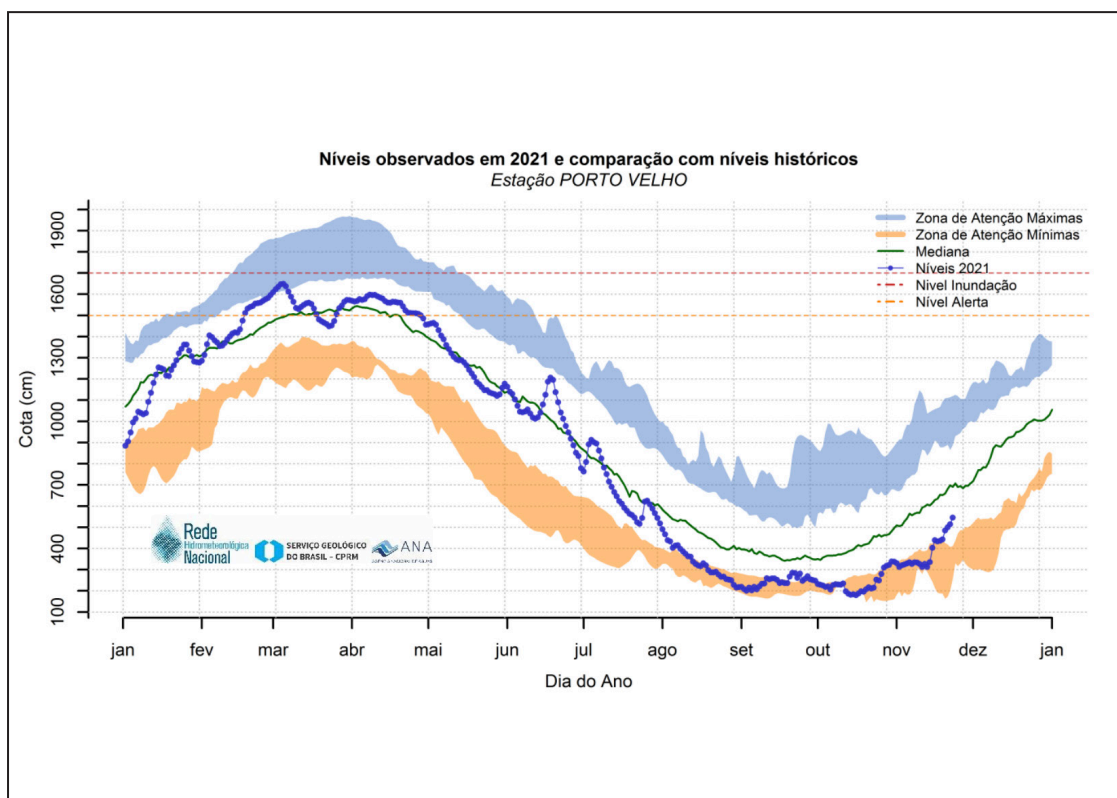


Figura 59: Hidrograma do Rio Madeira na estação de Porto Velho no ano de 2021 e comparação com níveis históricos. Fonte: cprm.gov.br.

As características físicas de uma bacia de drenagem e seus rios influenciam a quantidade e o momento do escoamento. Desta forma, vamos abordar os conceitos de tamanho, forma, declividade média, comprimento do rio principal e tempo de concentração.

» Tamanho

O tamanho da bacia, expressado em área, é uma das características principais. Conhecendo a área da bacia é possível estimar qual o volume de água recebido como resultado de uma determinada precipitação (expressado em lâmina d'água – mm ou l/m^2). Na figura 60, compara-se duas bacias de tamanhos diferentes. A bacia 1, com área maior que a bacia 2, apresenta um potencial de geração de escoamento maior do que na bacia 2.

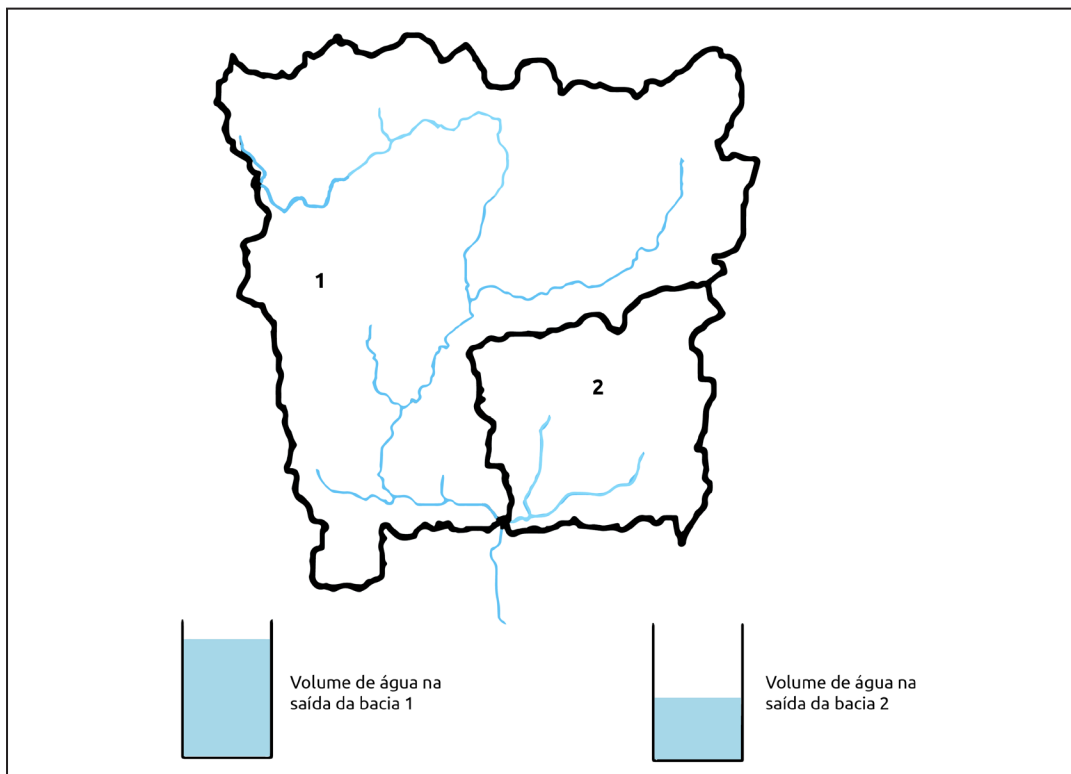


Figura 60: Influência do tamanho das bacias no escoamento. Fonte: Adaptado de NOAA/NWS/The COMET Program.

» Forma

A forma da bacia também influencia a magnitude e o tempo do pico de fluxo na seção de saída da bacia hidrográfica (exutório da bacia). Considere duas bacias de área igual, em que uma é longa e estreita e a outra é mais redonda (figura 61). O escoamento viajando do ponto mais distante na bacia mais redonda chegará mais rapidamente à saída da bacia assim como a água de vários locais da bacia têm maior probabilidade de chegar à saída ao mesmo tempo, resultando em uma resposta mais rápida e concentrada

no caso de chuva e um maior pico de vazão. Em contraste, em uma bacia mais longa e estreita, a água de vários locais tem menor probabilidade de chegar ao mesmo tempo por percorrer um caminho mais longo até a saída, tendendo a apresentar cheias mais distribuídas com menor vazão de pico.

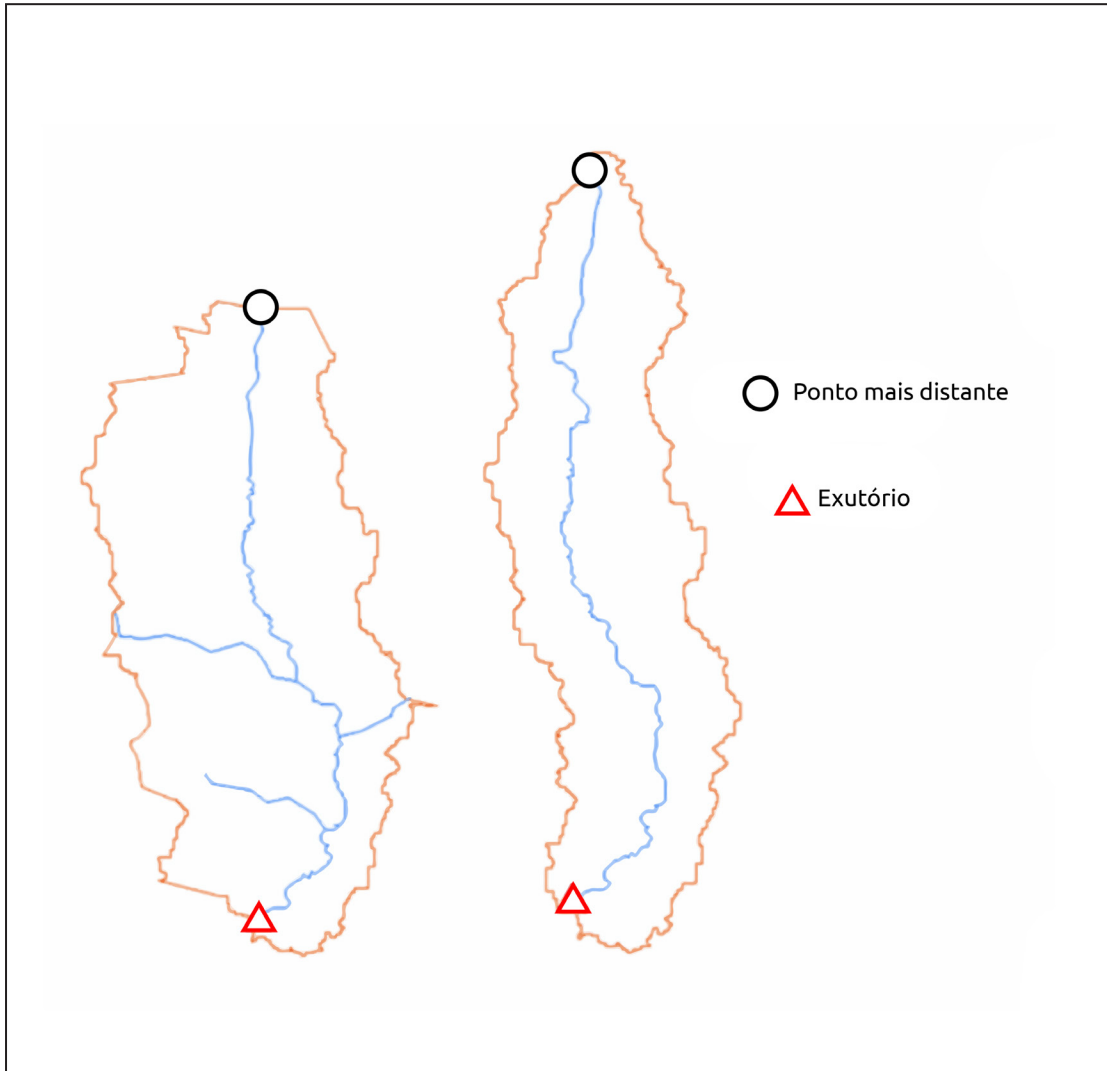


Figura 61: Influência da forma das bacias no escoamento. Fonte: Adaptado de NOAA/NWS/The COMET Program.

» Declividade média

A declividade de uma bacia afeta a quantidade e o tempo de escoamento. À medida que a inclinação do terreno aumenta, vários fatores entram em jogo. A primeira é que o contato da água com a superfície não é mais perpendicular. Com a inclinação do terreno, a gravidade não puxa mais a água diretamente para o solo, portanto, é provável que mais água se transforme em escoamento superficial. Outro fator é o movimento da água na superfície terrestre.



À medida que o terreno fica cada vez mais íngreme, a água se moverá mais rápido e terá menos tempo em contato com a superfície do solo, reduzindo o tempo durante o qual ela pode se infiltrar.

Na figura 62, a bacia com declividade alta (como em regiões serranas), a gota que cai no ponto mais longe da bacia levará menos tempo para alcançar o exutório em relação a gota que cai na bacia com declividade baixa (como em regiões com relevo mais suaves), e com isso o hidrograma apresentará pico maior e mais concentrado.

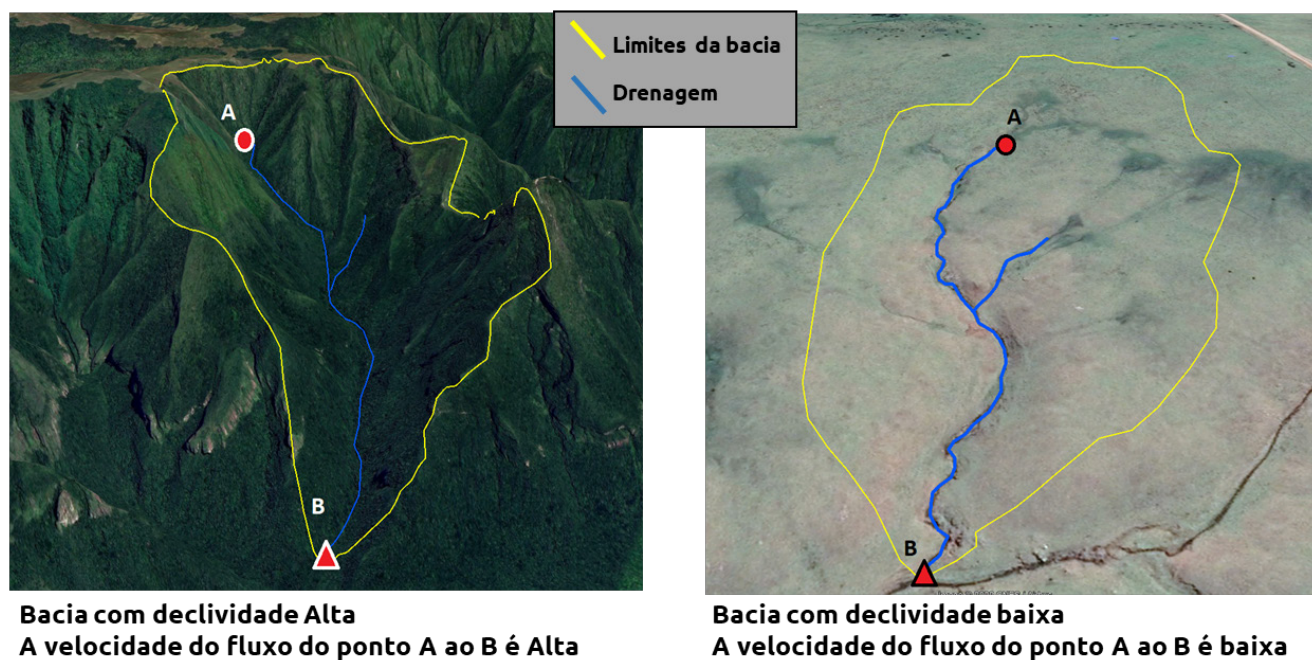


Figura 62: Influência da declividade média das bacias no escoamento. Fonte: Cemaden.

» Comprimento do rio principal e densidade de rios

A densidade da rede de drenagem é o comprimento de todos os canais dentro da bacia dividido pela área da bacia. A densidade da rede de drenagem é uma das características mais importantes para avaliar o escoamento potencial. Uma bacia com um grande número de afluentes tem uma densidade de fluxo mais alta do que uma bacia de poucos afluentes.

A maior densidade do rio permite que a paisagem seja drenada com mais eficiência após um evento de tempestade. Uma bacia com uma densidade de fluxo mais baixa geralmente indica um solo profundo e bem desenvolvi-

do. Nesse caso, é mais provável que a água se infiltre no solo do que se transforme em escoamento superficial e entre na rede de canais.

Na figura 63, a bacia com maior densidade de drenagem (rios vermelhos) apresenta o maior e mais concentrado pico de vazão do que a bacia com menor densidade de drenagem (rios azuis).

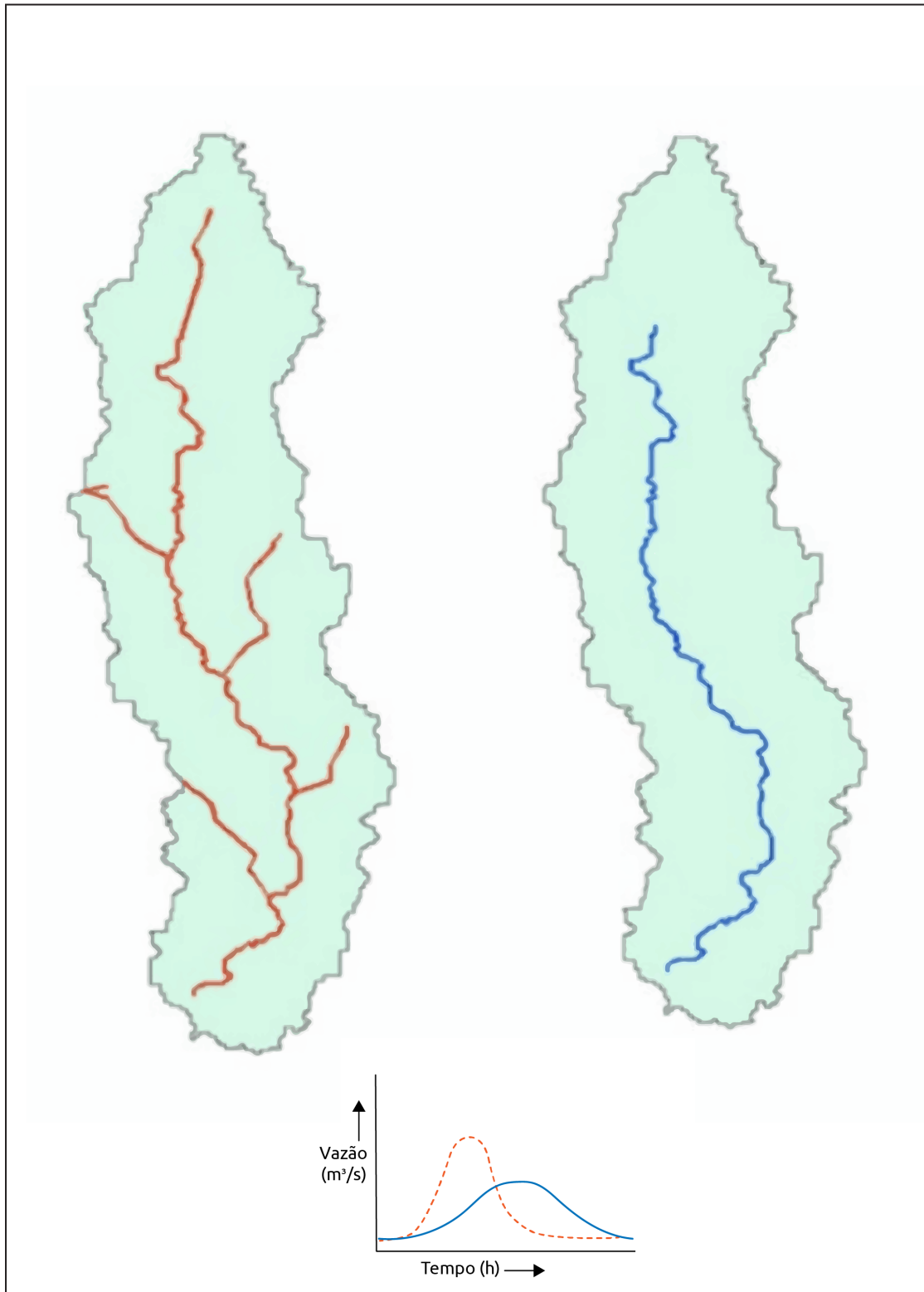


Figura 63: Comprimento do rio principal e densidade de rios. Fonte: Adaptada de NOAA/NWS/The COMET Program.

» Tempo de concentração

Tempo de concentração (TC) é um conceito usado em hidrologia para medir a resposta de uma bacia hidrográfica a um evento de chuva. É definido como o tempo necessário para que a água flua do ponto mais remoto de uma bacia para a seção de saída. É função da topografia, geologia e uso da terra na bacia hidrográfica.

Hidrograma e Hietograma

Na área de hidrologia, a resposta de um evento de precipitação em uma bacia hidrográfica pode ser apresentada através de um gráfico da vazão (em uma dada seção do canal) em função do tempo; este gráfico é chamado de hidrograma. Da mesma forma, o gráfico da chuva em função do tempo é chamado hietograma.

É comum representar o hidrograma e o hietograma sobrepostos, compartilhando a mesma escala do eixo horizontal, sendo a precipitação (hietograma) na forma de barras e com escala invertida (de cima para baixo). A figura 65 apresenta um exemplo de visualização do hidrograma e do hietograma separadamente para um evento de chuva de uma bacia hidrográfica.

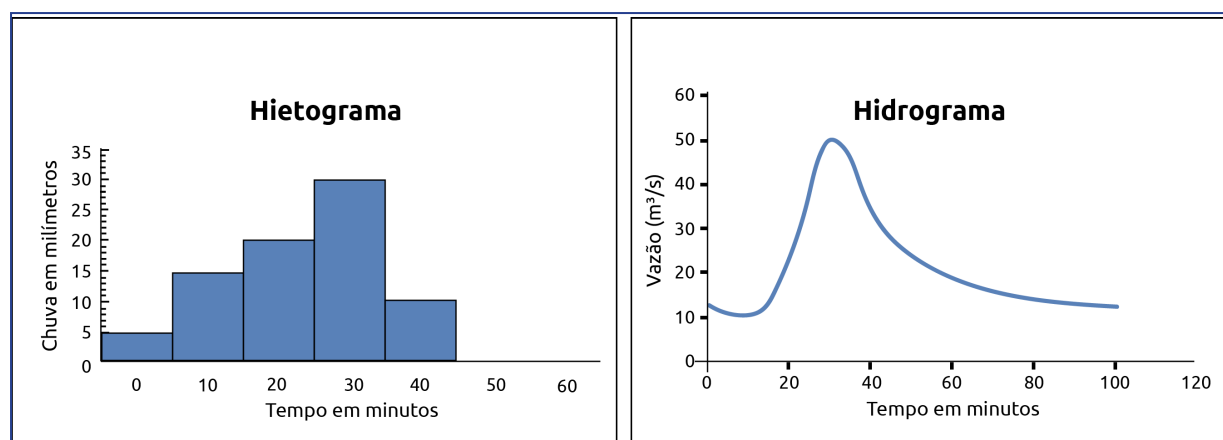


Figura 64: Exemplo de hidrograma e hietograma. Fonte: elaborado pelo autor.

As características físicas da bacia hidrográfica têm grande influência na forma do hidrograma para um evento de precipitação, bem como qualquer alteração, tanto natural (erosão), quanto artificial (urbanização, retificação de canais, piscinões, etc.): também modificam o hidrograma do evento. Assim, vamos aprofundar o assunto fazendo algumas comparações:

Bacias rurais x bacias urbanas

A urbanização normalmente resulta em alterações nas superfícies naturais do solo e nos canais dos rios de uma bacia (figura 65). A permeabilidade da superfície, tamanho da bacia, densidade do fluxo, rugosidade e comprimento do canal e declive podem ser afetados de uma forma que resulta em maior magnitude e velocidade de escoamento.

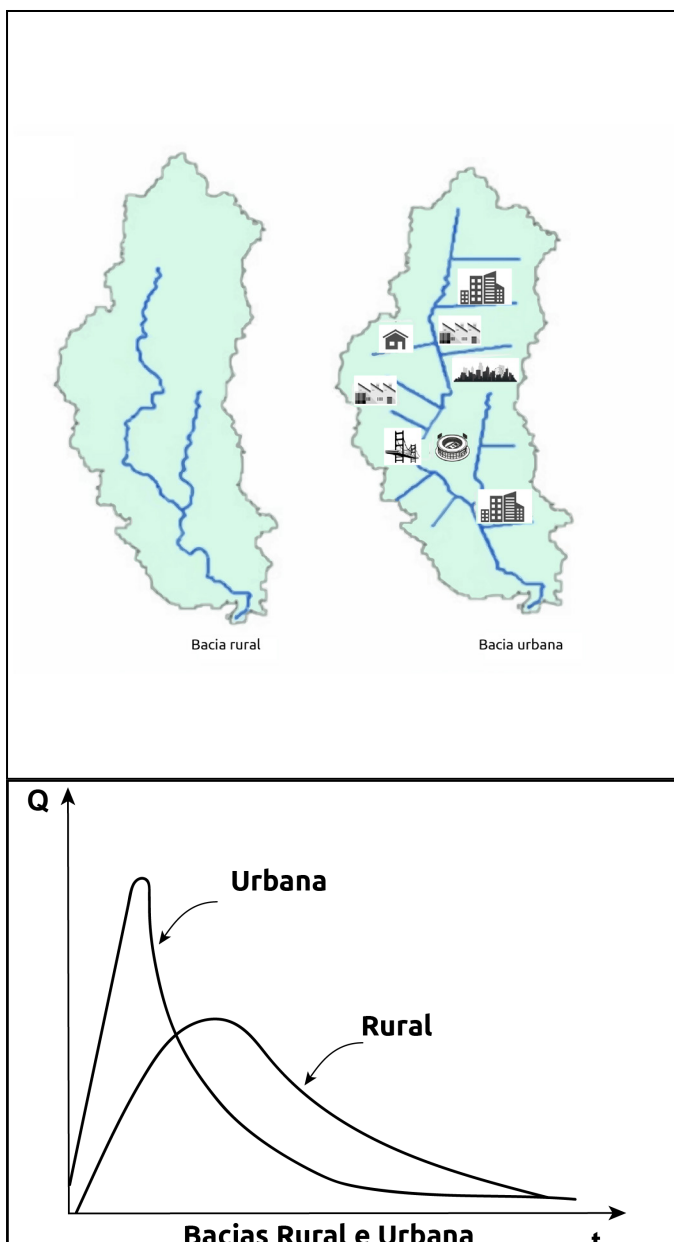


Figura 65: (a) Transformação da Bacia rural em Bacias urbanas e (b) seus hidrogramas. Fonte: Adaptado de NOAA/NWS/The COMET Program.

Em áreas urbanas, a maior cobertura de pavimentação, edifícios e solos compactados evita a infiltração de chuva em comparação com a superfície natural do solo. Isso pode aumentar muito a magnitude do escoamento. As características urbanas, como estradas, ruas e bueiros, podem atuar para quebrar as bacias naturais em sub-bacias menores.

Drenagens menores reagem muito mais rapidamente às chuvas localizadas do que bacias maiores. Redes rodoviárias, valas e sistemas de esgoto pluvial atuam como uma rede de afluentes e aumentam efetivamente a densidade dos rios. Densidade de fluxo mais alta resulta em escoamento mais rápido para os canais de fluxo.

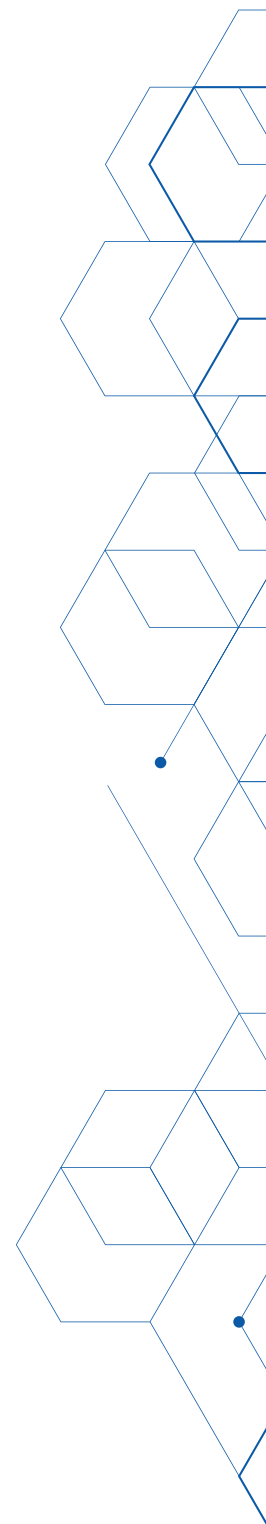
Em comparação com o leito de um canal natural, as superfícies das estradas, canais concretados e bueiros têm superfícies lisas. Esta diminuição na rugosidade da superfície permite que o escoamento se mova muito mais rapidamente para os canais do fluxo principal do que em um ambiente mais natural.

» **Rio com meandro x rio retilíneo**

Dependendo das características geomorfológicas da região, um rio pode ser mais retilíneo, ou cheio de curvas. As curvas dos rios são usualmente chamadas de meandros (figura 66). Os meandros no canal aumentam a distância que a água deve percorrer de montante a jusante.

Considere uma bacia com canais de fluxo sinuosos: se todos os meandros fossem retificados, a distância que a água percorre pelos riachos diminuiria. Isso reduz o tempo que a água leva para chegar à saída da bacia. Também diminui o tempo durante o qual a água pode infiltrar-se no solo através do fundo do canal do riacho.

Os meandros aumentam o tempo de viagem do escoamento através da bacia e podem reduzir o volume geral do escoamento.



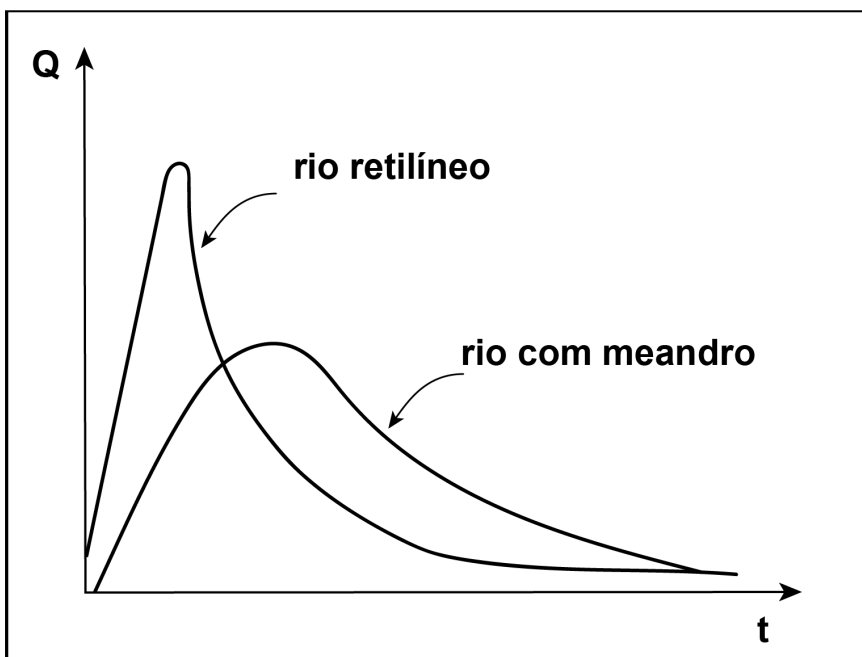
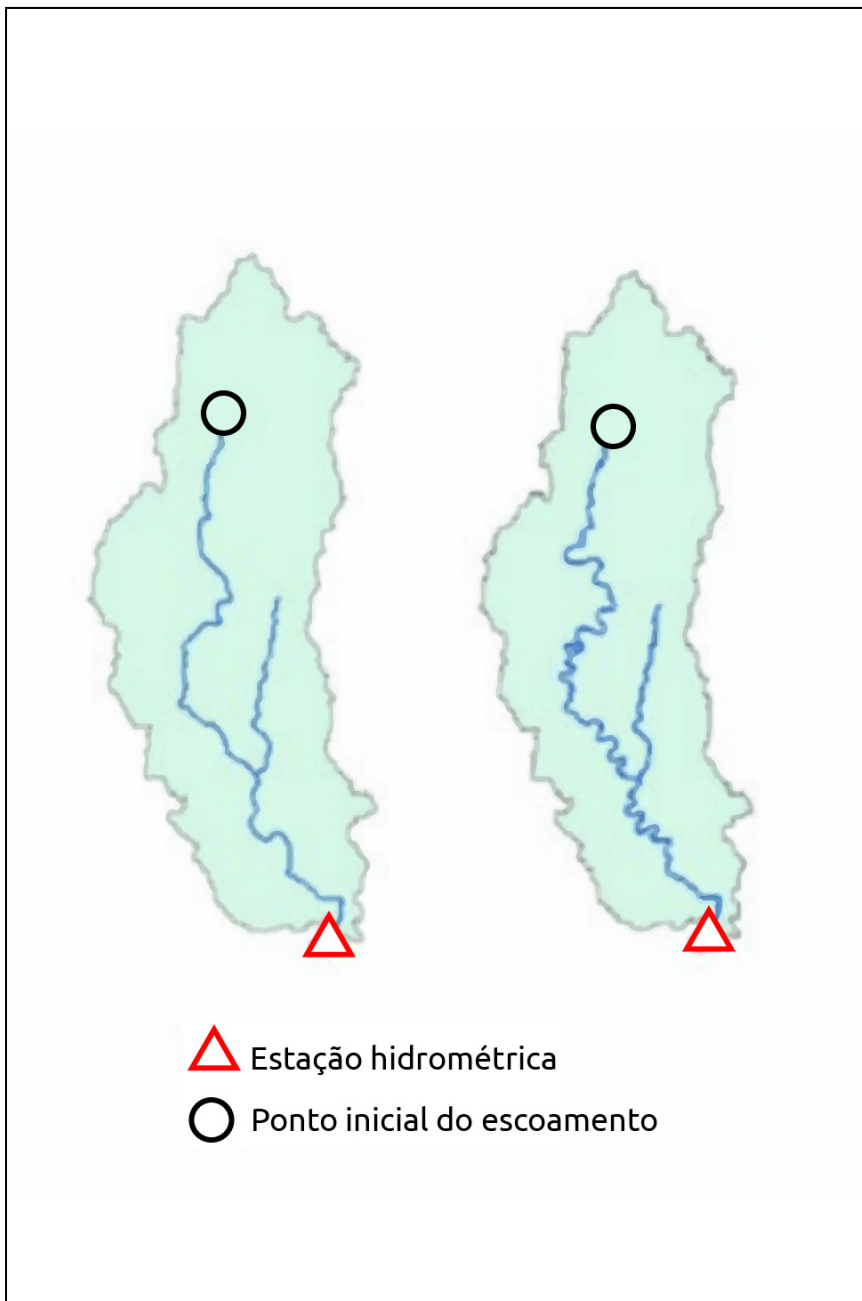
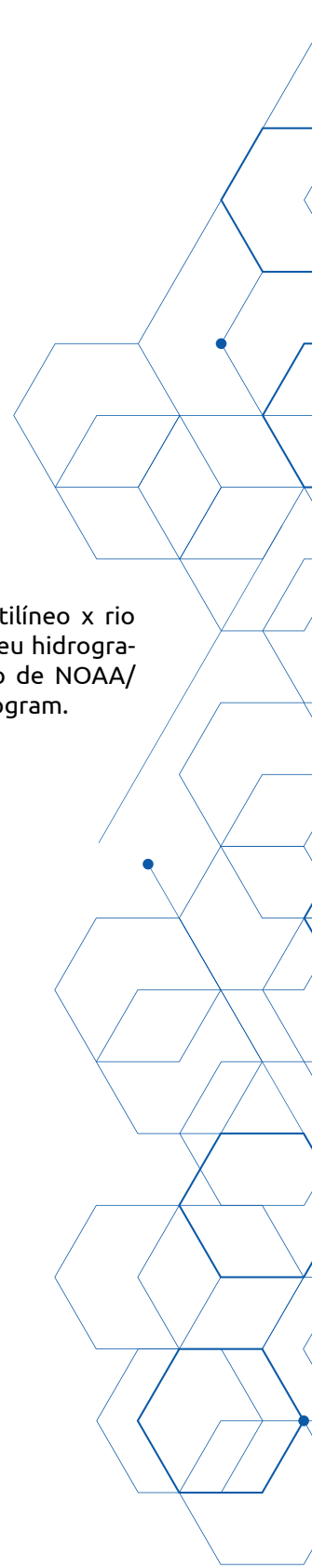


Figura 66: (a) Rio retilíneo x rio com meandro e (b) seu hidrograma. Fonte: Adaptado de NOAA/NWS/The COMET Program.



» Rio natural x rio regularizado

A regularização consiste em modificar a forma natural do rio ou canal. Este procedimento pode ser feito para facilitar o escoamento da água, ou também para permitir a navegação, por exemplo. É de se esperar que as características de vazão mudem em função da regularização.

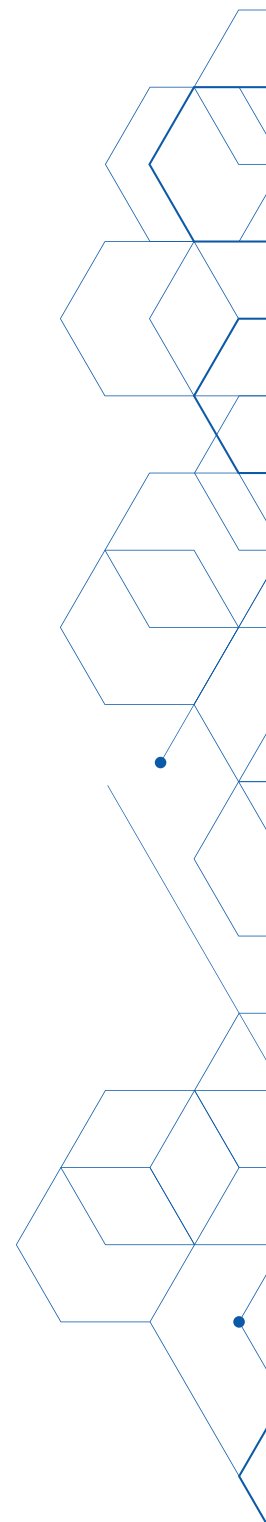
Fatores que influem a formação das inundações e enxurrada

As cheias são o resultado da combinação da precipitação com as características da bacia hidrográfica. A cada bacia estão associados elementos físicos e geomorfológicos que contribuem na formação do escoamento superficial e de sua concentração na seção exutória da bacia (NAGHETTINI e PINTO, 2007).

A principal causa das inundações é a ocorrência de precipitação acima do normal, mas também pode ter causas indiretas, como o assoreamento, redução da capacidade de infiltração do solo, estrangulamento dos leitos dos rios, rompimento de barragens (CASTRO et al., 2003).

Abordagem sobre a expansão das áreas construídas sobre locais de planícies de inundação

O crescimento das cidades, impulsionado pelo desenvolvimento industrial e urbano no final do século XIX no Brasil, determinou que as planícies de inundação, antes livres de ocupação urbana, passassem a ser progressivamente urbanizadas (LUZ e RODRIGUEZ, 2020). Ver figura 67.



Assim as diferentes mudanças no escoamento (descritas no capítulo anterior) vêm a acontecer ocasionando inundações e enxurradas no âmbito urbano.

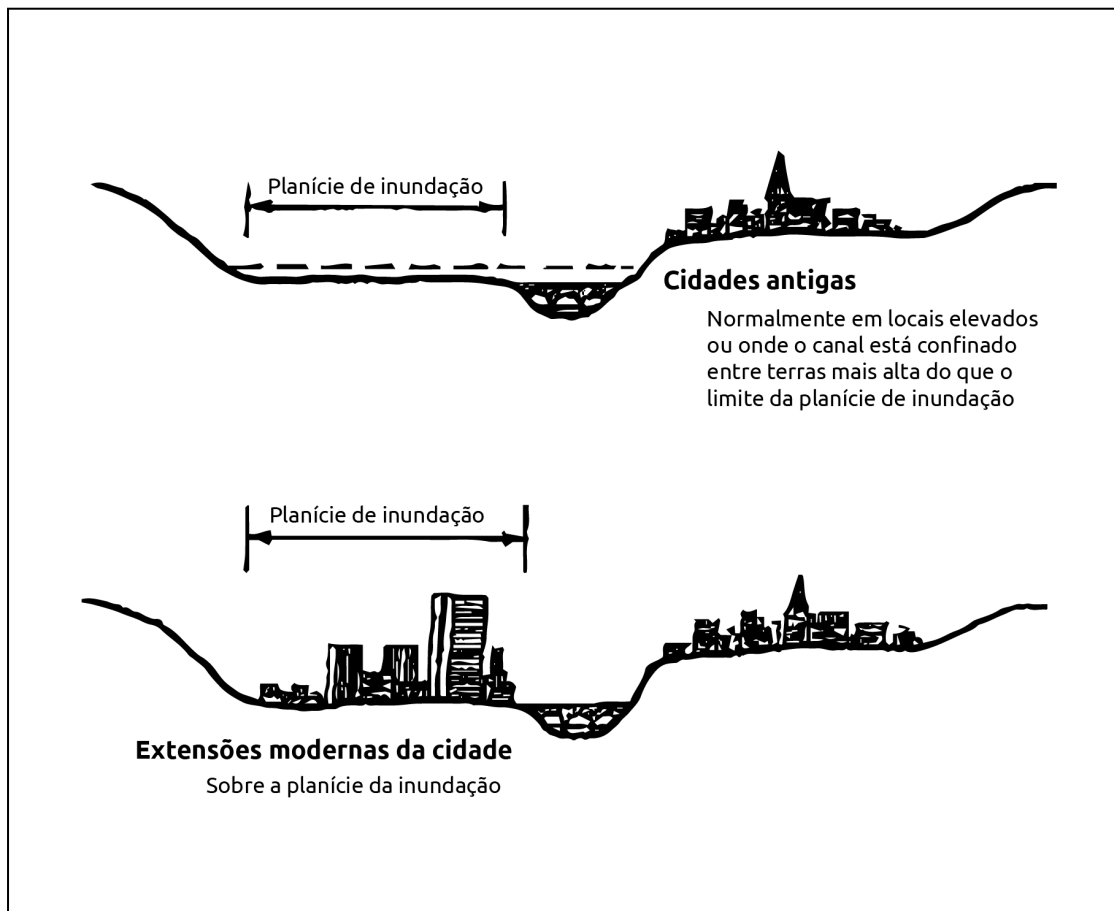


Figura 67: Crescimento das cidades modernas. Fonte: Adaptado de Hockin, Whittle e Bailey, 1978.

Segundo Tucci (2000), a ocupação das planícies de inundação pode ser dividida em três estágios:

- » A bacia começa a ser urbanizada de forma distribuída, com maior densificação à jusante, aparecendo, no leito natural, os locais de inundação devido a estrangulamentos naturais ao longo do curso do rio.
- » As primeiras canalizações são executadas à jusante, com base na urbanização atual; com isso, o hidrograma à jusante aumenta, mas ainda é contido pelas áreas que inundam a montante e porque a bacia não está totalmente adensada.



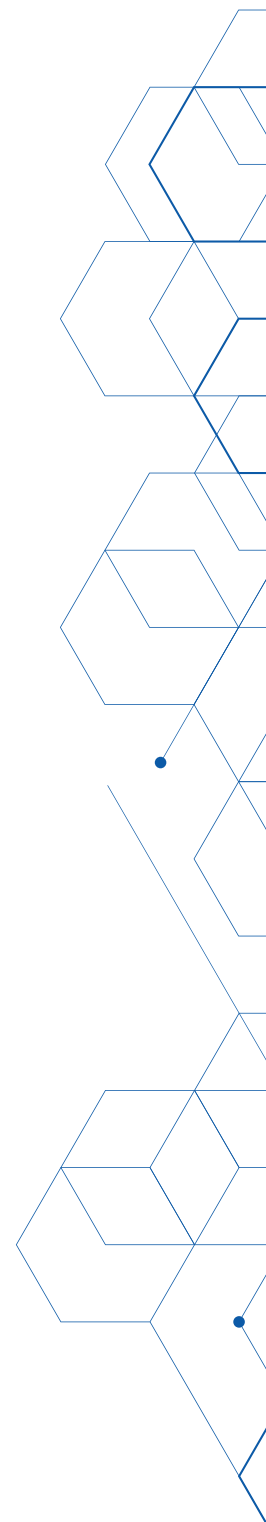
- » Com a maior densificação, a pressão pública faz com que os administradores continuem o processo de canalização para montante. Quando o processo se completa, ou mesmo antes, as inundações retornam à jusante; as áreas de montante, que funcionavam como reservatórios de amortecimento, começam a transferir a inundação à jusante.

Impactos da impermeabilização extensiva nas grandes cidades

Como já mencionamos no módulo anterior, a maior cobertura de pavimentação, edifícios e solos compactados nas áreas urbanas, evita a infiltração de chuva em comparação com a superfície natural do solo. Isso no ambiente de uma grande cidade, com grandes rodovias, ruas, calçadas e telhados de casas; em todas essas superfícies impermeáveis a água não penetra mais no solo, mas agora escoar para os esgotos pluviais e, em seguida, rapidamente para os riachos locais.

A inundação localizada e brusca, conhecida também como enxurrada, é muitas vezes o resultado. Assim, ocorre mais escoamento de águas pluviais – escoamento que deve ser coletado por extensos sistemas de drenagem (em alguns casos inexistentes, os deficientes) que combinam meios-fios, bueiros e valas para transportar o escoamento de águas pluviais diretamente para os riachos.

De forma mais simples, em uma bacia hidrográfica altamente urbanizada, muito mais água chega aos rios com muito mais rapidez, resultando em uma maior probabilidade de inundações mais frequentes e severas. A figura 69 mostra a variação das parcelas dos processos do ciclo hidrológico em diferentes fases de urbanização, desde a área com vegetação natural (10% de escoamento superficial e 50 % de infiltrações) até uma cidade totalmente edificada (45% de escoamento superficial e 15% de infiltrações).



As cheias frequentes causam problemas aos residentes e também ao governo local, que tem de limpar a areia e os sedimentos depositados após uma **inundação**².

Ver: www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/impervious-surfaces-and-flooding?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects.

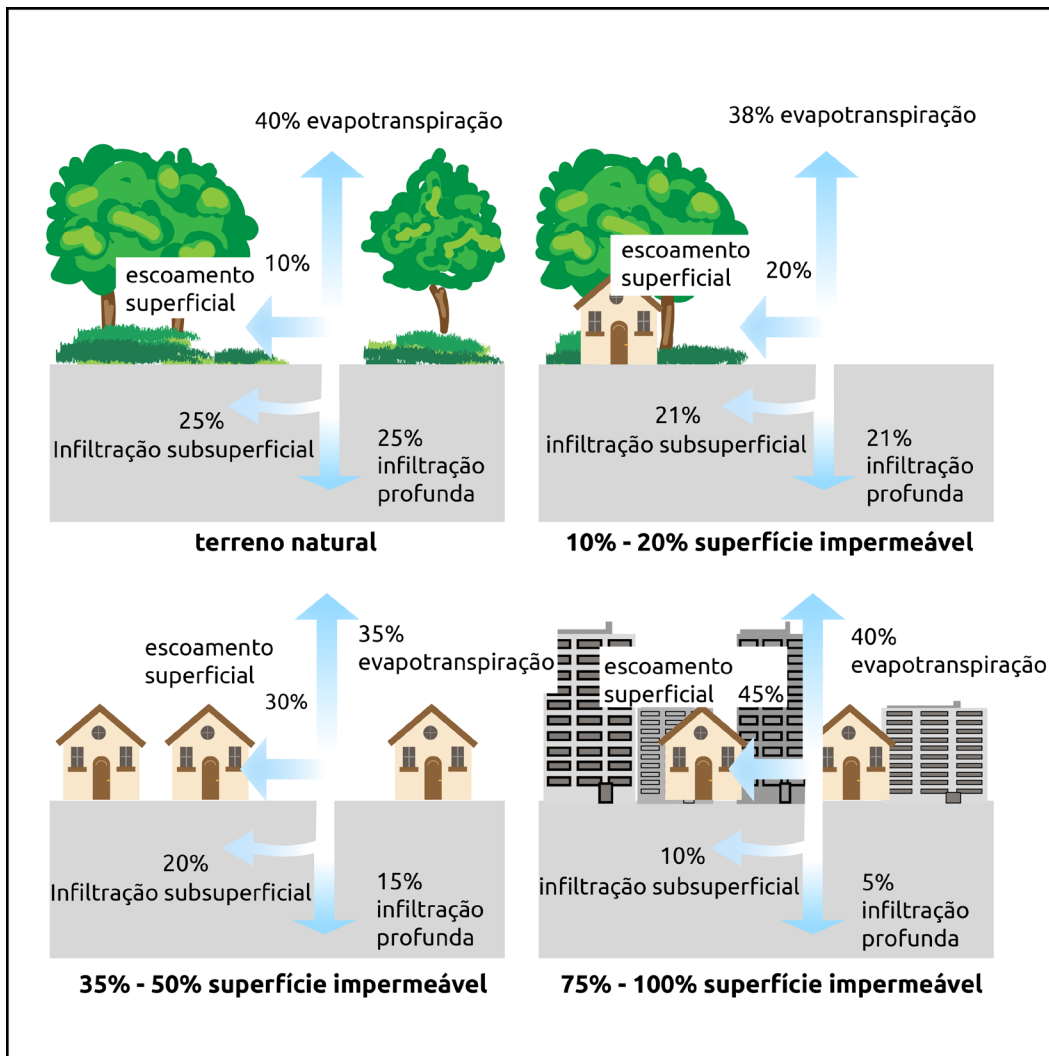


Figura 68: Alterações nas parcelas dos processos do ciclo hidrológico em diferentes fases de urbanização. Fonte: Adaptado de FISWG, 2001, apud CARDOSO, 2008.

Desmatamento

A retirada de cobertura vegetal facilita processos erosivos que contribuem para o assoreamento dos rios, diminuição da calha fluvial e da capacidade de vazão do canal, diminui a capacidade de amortecimento das cheias, diminui o processo de evapotranspiração, aumenta o volume e a velocidade do escoamento superficial.

Miguez e Magalhães (2010) indicam que o reflorestamento previne a erosão do solo, preserva a camada superficial do solo e favorece a infiltração e, assim, o volume de escoamento superficial é reduzido, permitindo o correto funcionamento das estruturas de drenagem uma vez que uma menor quantidade de água e sedimentos chega ao sistema.

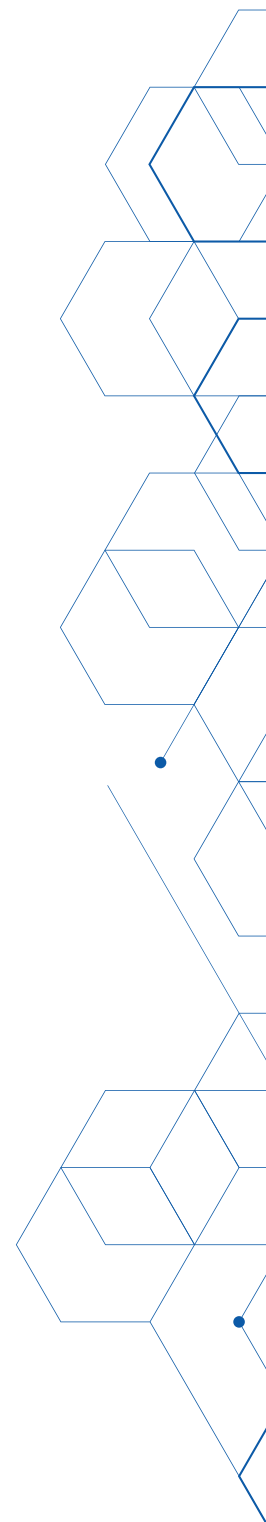
Barramentos, estrangulamentos de canal

Intervenções urbanas físicas nos cursos d'água, como pontes, aterros e travessias, diminuem a capacidade de condução de vazão, e consequentemente aumenta o efeito de remanso para a montante. Este problema torna-se mais grave quando é combinado com o lançamento de resíduos sólidos no sistema de drenagem, que tendem a se concentrar e acumular nestas seções.

Despejo de resíduos sólidos urbanos

Na Carta de Recife (ABRH, 1995) sobre o Controle de Enchentes Urbanas foi resolvido que o controle da poluição devido à drenagem urbana está diretamente ligado ao lixo, à limpeza das ruas e às ligações cloacais ligadas na rede pluvial. Para minimizar o impacto deve-se prever um plano de melhoria da limpeza urbana e a redução das ligações entre os sistemas de coleta.

Assim, pode-se afirmar que o descarte inadequado de lixo causa entupimento de bueiros, canais e rios, e redução da vazão das galerias fluviais. Os municípios devem ter em mente a conscientização da população sobre o descarte correto do lixo e a prefeitura ser responsável pela limpeza de galerias e canais sempre após um evento de chuva intensa.



O impacto das marés e efeitos de remanso em rios e afluentes

Conceituação dos efeitos das marés e de remansos em rios e canais

De forma simplificada, a costa brasileira está exposta a 3 tipos de efeitos das marés (mostrados na figura 69), que são descritos a seguir:

- » Influência de maré astronômica, em que as alturas de maré podem chegar a 10 metros em alguns locais. O coeficiente de maré e os horários de preamar (maré alta) previstos para o dia são encontrados no site: www.tabuademares.com/br, no qual é possível verificar as informações mencionadas para uma série de localidades.
- » Influência de maré meteorológica, em que sistemas atmosféricos e transporte de Ekman elevam a altura das ondas e do nível do mar. Para os municípios sob influência de maré meteorológica, é necessário buscar informações sobre a ocorrência de ressacas e de ventos fortes do quadrante sul. A tabela mostra os endereços para verificação desse evento.
- » Influência de maré astronômica + meteorológica; neste caso deve-se procurar informações de ambas as classes anteriores.



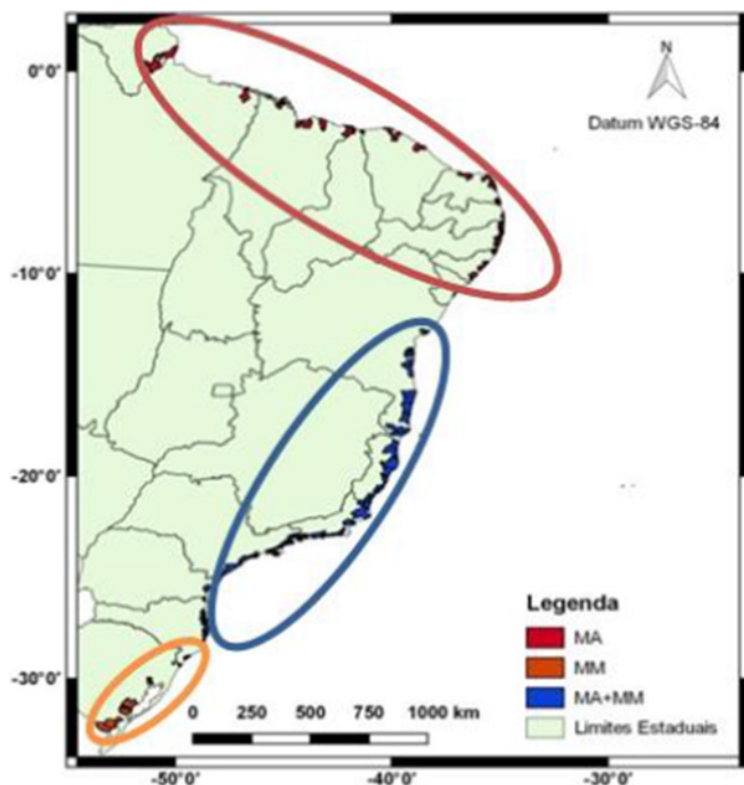


Figura 69: Localização dos municípios quanto à influência das marés astronômica (MA), maré meteorológica (MM) e maré astronômica + meteorológica (MA+MM). Fonte: Cemaden.

Quanto à maré estar alta em qualquer dos tipos explicados acima, e se cho-ver no município litorâneo ou qualquer outro a montante dele: a água da chuva poderá ter dificuldade de escoar para o oceano devido a barreira que a maré causa. Veja abaixo os endereços para verificação de maré meteorológica.

» **Avisos de ressaca/mau tempo**

[https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-avisos-de-mau-tempo/avisos-de-mau-tempo.](https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-avisos-de-mau-tempo/avisos-de-mau-tempo)

» **Modelagem de ondas e altura do nível do mar da Marinha**

<https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-modelagem-numerica-tela-de-chamada/modelagem-numerica..>

» **Modelagem de ondas do CPTEC**

[http://ondas.cptec.inpe.br.](http://ondas.cptec.inpe.br)

» **Medições de nível do mar em SC**

[http://www.ciram.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=812&Itemid=490.](http://www.ciram.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=812&Itemid=490)

» **Medições de nível e boletins de previsão para Santos**

<http://nph.unisanta.br/Home/Mapa>; <http://noticias.unisanta.br/nph>

O movimento uniforme em um curso de água caracteriza-se por uma seção de escoamento e declividade constantes. Tais condições deixam de ser satisfeitas, por exemplo, quando se executa uma barragem ou uma ponte em um rio. A barragem ou ponte causa a sobre-elevação das águas, influenciando o nível da água a uma grande distância a montante. É isso que se denomina remanso.

Medidas de mitigação de inundações e enxurradas

Discussão das medidas estruturais tradicionalmente utilizadas para a redução dos impactos de inundações e enxurradas e boas práticas associadas às medidas estruturais

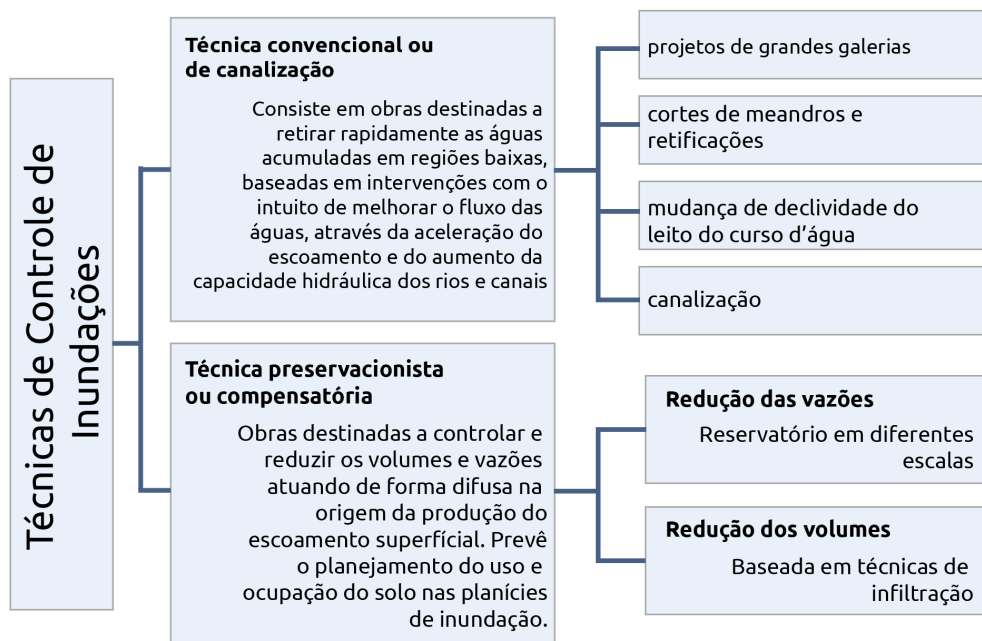


Figura 70: Classificação das técnicas de controle de inundações. Fonte: Rezende (2018).

Segundo Rezende (2018), as soluções técnicas para o controle das inundações podem ser classificadas em duas correntes de pensamentos, que são a Técnica convencional (ou de canalização) e Técnica preventcionista (ou compensatória), como mostra a figura 70.

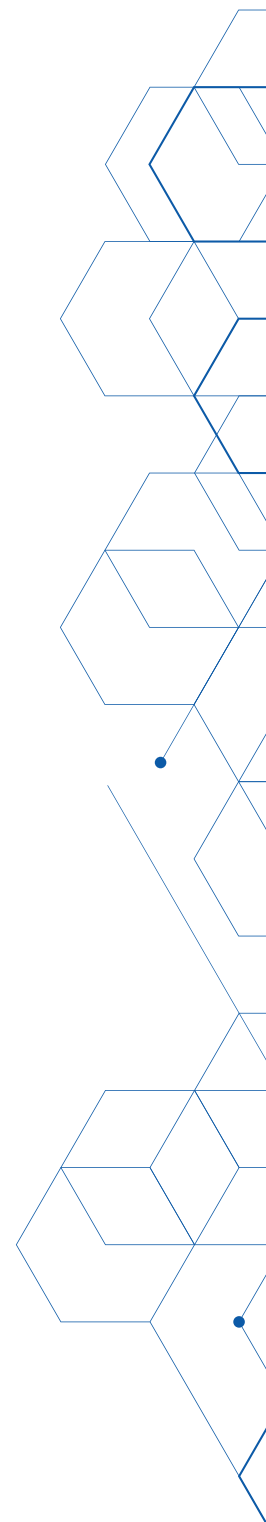
Medidas estruturais são intervenções diretas nas calhas dos rios ou na paisagem urbana, como canalização, barragens, reservatórios, criação de parques longitudinais inundáveis, diques, reservatórios em praças ou lotes, entre outros. São consideradas medidas de controle e, geralmente, imprescindíveis para ações corretivas. Elas são divididas em:

- » extensivas: quando possuem ação sobre a bacia, alterando a relação precipitação x vazão e, desta forma, pode-se classificá-la como uma medida hidrológica; e
- » intensivas: quando possuem ação direta sobre o escoamento da água nos rios e canais, buscando alterar as condições hidrodinâmicas da onda de cheia, sendo assim, classificadas como uma medida hidráulica.

Medidas não estruturais de mitigação

As medidas não estruturais são medidas de caráter legal e institucional e que procuram disciplinar a urbanização de tal forma a minimizar os seus efeitos no regime hídrico das bacias. Estas procuram, sem alterar a morfologia, reduzir os impactos com a aplicação de medidas e princípios que visam reduzir o risco hidrológico e a interferência causada por ações antrópicas às condições naturais.

As medidas incluem ações como o zoneamento das áreas de inundação, previsões de cheias, seguros de inundações, legislação pertinente e sistema de alerta para inundações. Este último envolve o monitoramento e um sistema de previsão hidrológica, com o objetivo de antecipar a ocorrência



de inundação, avisando a população e tomando as medidas necessárias para reduzir os prejuízos resultantes da inundação (TUCCI, 2007). A seguir, são apresentadas as descrições das medidas não estruturais mais relevantes (São Paulo, 2012):

- » Normas e critérios técnicos para construção de obras: visa estabelecer as características técnicas das estruturas que estão em áreas suscetíveis a alagamentos. Algumas destas técnicas permitem a desocupação da área ou a adequação das estruturas para a passagem da água, como no caso de estruturas elevadas e resistentes a inundações.
- » Legislação apropriada: seguindo a mesma linha das normas e critérios técnicos, a legislação relacionada à ocupação do solo e construção previne que as áreas afetadas pelas enchentes e áreas ainda não impermeabilizadas sejam ocupadas.
- » Seguro-enchente: é um seguro que visa cobrir os gastos com a recuperação dos danos causados pelas inundações.
- » Sistemas de alerta: são sistemas de monitoramento hidrológico em tempo real que permitem processar modelos de previsão de chuva e de inundações. Estes são sistemas que devem estar acoplados a programas de ações emergenciais (remoção de população em situação de risco, controle do trânsito, operação de obras de controle de cheias, etc.).
- » Educação ambiental: programas de formação em questões ambientais para conhecimento e participação dos cidadãos.

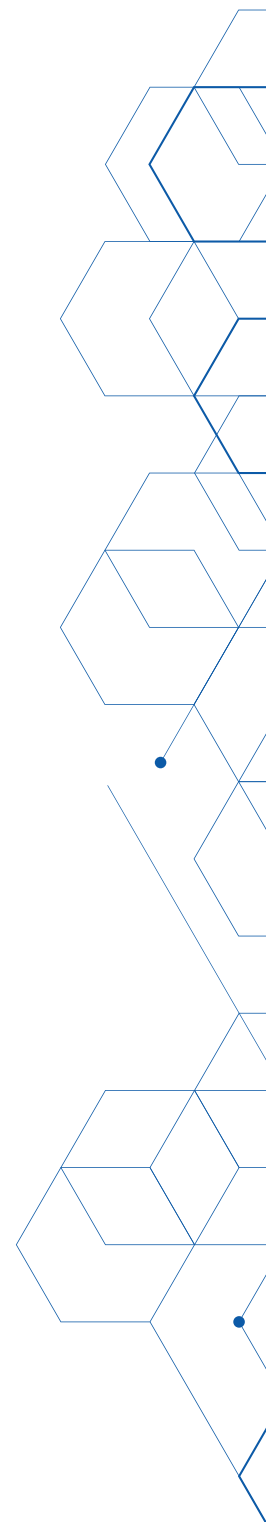
Um exemplo de Sistemas de Alertas à Inundação no Brasil é o Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE) do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). O SACE é a plataforma desenvolvida pelo CPRM para disponibilizar todas as informações geradas no contexto dos Sistemas de Alerta Hidrológico (SAHs).



Nesta plataforma são reunidas todas as informações disponíveis para cada bacia hidrográfica, como o monitoramento automático de chuvas e níveis de rios em diversas estações hidrometeorológicas, os links para os mapas de riscos dos municípios e todos os boletins de monitoramento e alertas publicados.

Os dados das estações de monitoramento automático são recebidos, consistidos e processados por meio de modelos hidrológicos elaborados pela equipe da CPRM, e consolidados em forma de boletins de monitoramento, que são enviados às defesas civis estaduais, municipais, ao CENAD, à ANA, ao Cemaden, e demais órgãos de interesse.

Sempre que há a possibilidade de ocorrência de um evento, são enviados boletins de alerta hidrológico, com informações adicionais de previsões dos níveis dos rios, de forma que os órgãos atuantes possam se preparar da melhor forma possível para o evento. Assim, o objetivo dos SAHs é monitorar e gerar informações hidrológicas de qualidade, para subsidiar a tomada de decisões por parte dos órgãos relacionadas à mitigação dos impactos de eventos hidrológicos extremos.



Aspectos técnicos dos extremos geo-hidrológicos no país e as diferenças regionais

5

An aerial photograph showing a large-scale flooding event. In the foreground, a residential neighborhood is partially submerged, with water reaching the roofs of houses. In the middle ground, a large industrial complex with several large buildings and a tall chimney is surrounded by floodwaters. In the background, a wide river flows through a green, hilly landscape. The entire image is overlaid with a semi-transparent blue filter. At the top, there is a white banner with blue text, and a large blue number '5' is positioned on the right side. A decorative pattern of white hexagons is visible in the upper right quadrant.

Previsão de eventos hidrológicos

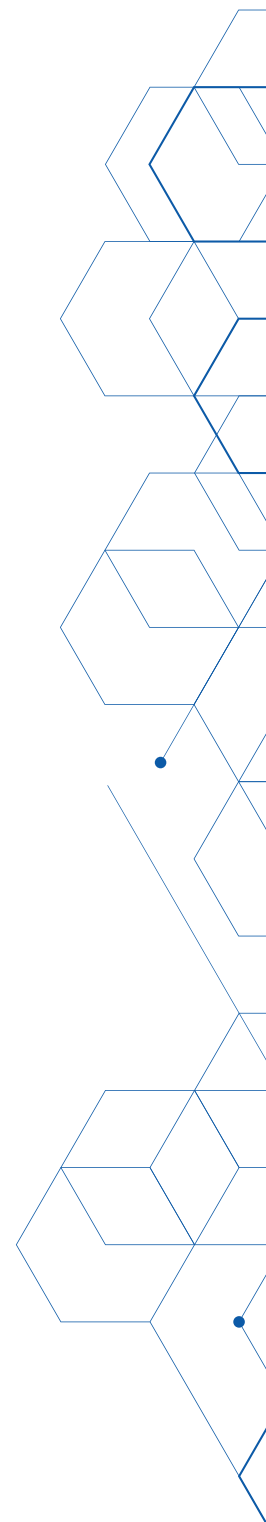
Ferramentas para previsão de inundações e enxurradas

O objetivo da previsão de inundações é emitir um aviso prévio sobre o nível de água ou vazão de um rio, que seja de uma grandeza tal que ameace a segurança das pessoas, estruturas e atividades que acontecem numa área susceptível a inundação. A aproximação da inundação pode ser prevista antes de sua ocorrência com a coleta antecipada de dados hidrometeorológicos e sua transformação em um hidrograma de inundação expressa em unidades de volume por tempo, comumente, em metros cúbicos por segundo (m^3/s).

Sistemas avançados de previsão de inundações podem permitir que as equipes de resposta à emergências (Defesas Civis) estejam mais bem preparadas para mitigar os danos. Esta aproximação é feita por diferentes ferramentas e técnicas que vão do simples ao complexo, e que no âmbito da hidrologia se conhecem como modelos.

A maioria dos modelos hidrológicos modernos pode usar dados de precipitação de várias fontes, como pluviômetros, radares meteorológicos, produtos de sensoriamento remoto ou precipitação simulada de modelos meteorológicos numéricos.

Dados de instrumentos fluviométricos (que medem o nível dos rios) são usados para medir e transmitir conjuntos abrangentes de dados sobre a situação real de rios, lagos e reservatórios. As modernas redes telemétricas, que transmitem dados em tempo real através da rede de telefonia celular ou satélites, são configuradas para coletar e transmitir medições várias vezes ao dia.



Embora as diferentes ferramentas de modelagem hidrológica e hidráulica, e sua associação com os modelos meteorológicos numéricos, nos permitem gerar previsões de vazão, nível de água e manchas de inundação para um determinado trecho de rio; ainda é indispensável um outro grupo entrar em jogo: Trata-se das referidas ferramentas de mapeamento de Risco Hidrológico, que estão inseridas dentro de um contexto maior que é a Gestão do Risco de Inundações.

Descrição das principais ferramentas utilizadas na previsão de eventos hidrológicos

Como foi mencionado, a aproximação de um evento hidrológico com potencial impacto em infraestrutura, pessoas e economia, pode ser previsto antes de sua ocorrência tendo em mão informação de parâmetros hidrometeorológicos. Uma das maneiras mais comuns de fazer uma previsão de um evento hidrológico vem da simples observação e interpretação do nível (ou vazão) em uma determinada seção do rio. No **hidrograma ou cotograma** é possível perceber facilmente se o rio se encontra em processo de cheia ou vazante, geralmente os hidrogramas fornecidos pelos diversos órgãos incluem as chamadas “cotas de referência” ou “cotas críticas”: cota de atenção, alerta e inundação ou transbordamento.

Nem sempre se tem disponíveis as cotas críticas, nesses casos o estudo das séries históricas, ou seja, os registros de anos de colheita de dados é de uma grande utilidade. Com base nelas podem-se calcular valores referência para conseguir perceber se o rio está nas margens da normalidade ou se re-

hidrograma ou cotograma é a representação gráfica da vazão que passa por uma seção, ou ponto de controle, em função do tempo

presenta um potencial evento hidrológico. Parâmetros tais como o Período de Retorno (ou Tempo de Recorrência – conceito abordado na unidade 4), a posição na curva de permanência (conhecido como Permanência ou Duração) e o Percentil são de grande ajuda.

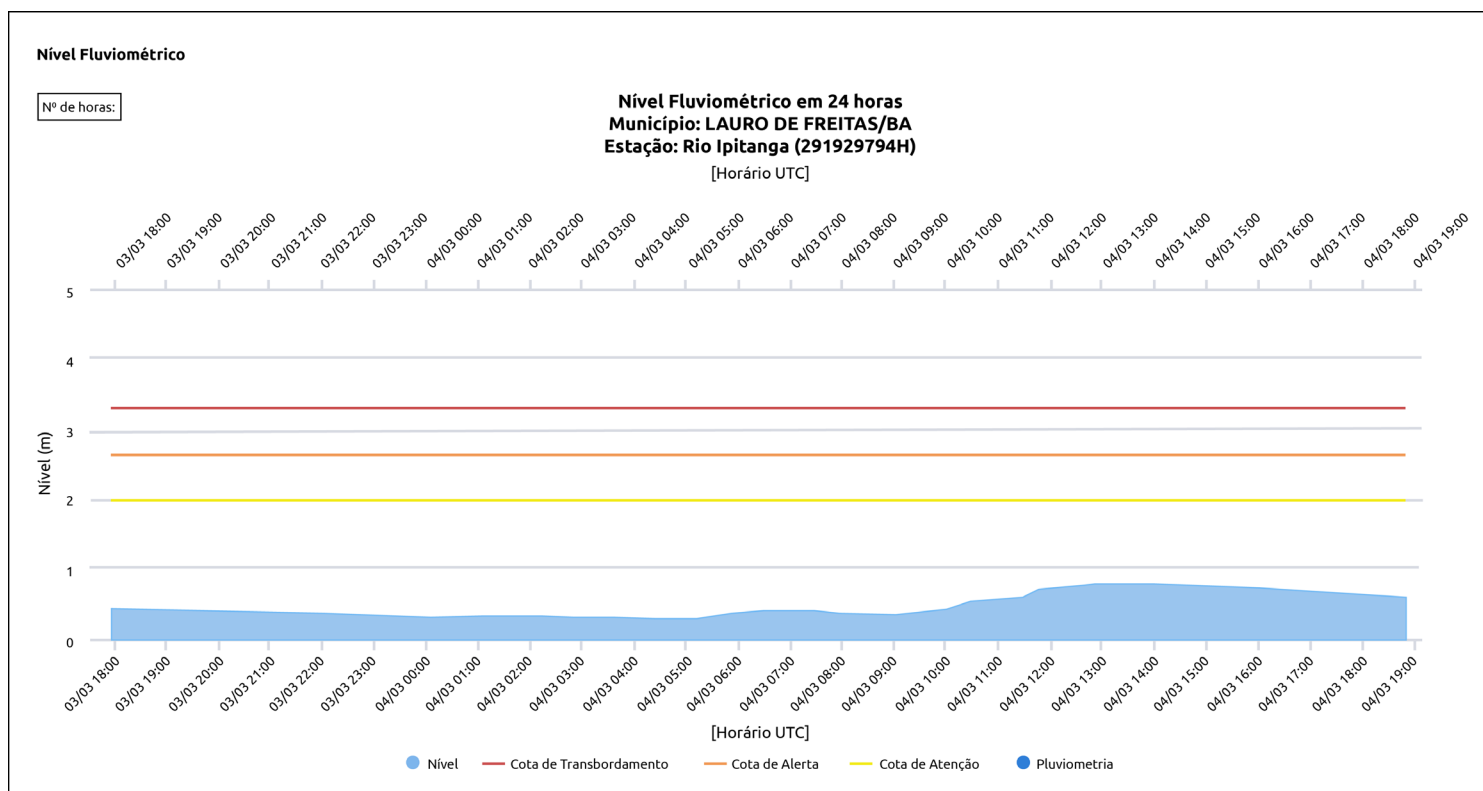


Figura 71: Cotagrama da estação Cemaden-Rio Pitanga no município Lauro de Freitas. Fonte: Cemaden.

O Período de Retorno (TR) é o intervalo estimado entre ocorrências de igual magnitude de um fenômeno; desta forma, se um determinado nível ou vazão tem TR de 5 anos, significa que ela pode ocorrer ou ser superada, uma vez a cada 5 anos, se o TR for 10, este evento pode ocorrer, ou ser superado a cada 10 anos, e assim por diante. Assim um rio cujo nível esteja acima dos 1,5 ou 2 anos de TR já é observado e monitorado com maior atenção. Eventos de inundação já começam a ter severidade a partir do TR igual a 5.

Grandes eventos de inundação, que nem o observado em Manaus em 2021 ou do rio Madeira em 2014, tem um TR acima de 50 ou 100 anos. Outra referência usual é o percentil, que é uma medida estatística de posição, assim o valor do percentil mostra a porcentagem dos dados que são iguais ou menores que esse valor. Se o nível do rio estiver com valor de percentil 90, significa que esse valor está acima de 90% dos dados observados na série histórica, está então numa fase de cheia, sem dúvida já em um estágio que merece atenção.

A permanência (ou duração) é o inverso do percentil, nesse caso uma vazão (ou cota) com valor de 5 significa que esse nível foi observado só 5% das vezes na série histórica. Mostrando assim que o rio está em um nível em que deve ser monitorado com atenção.

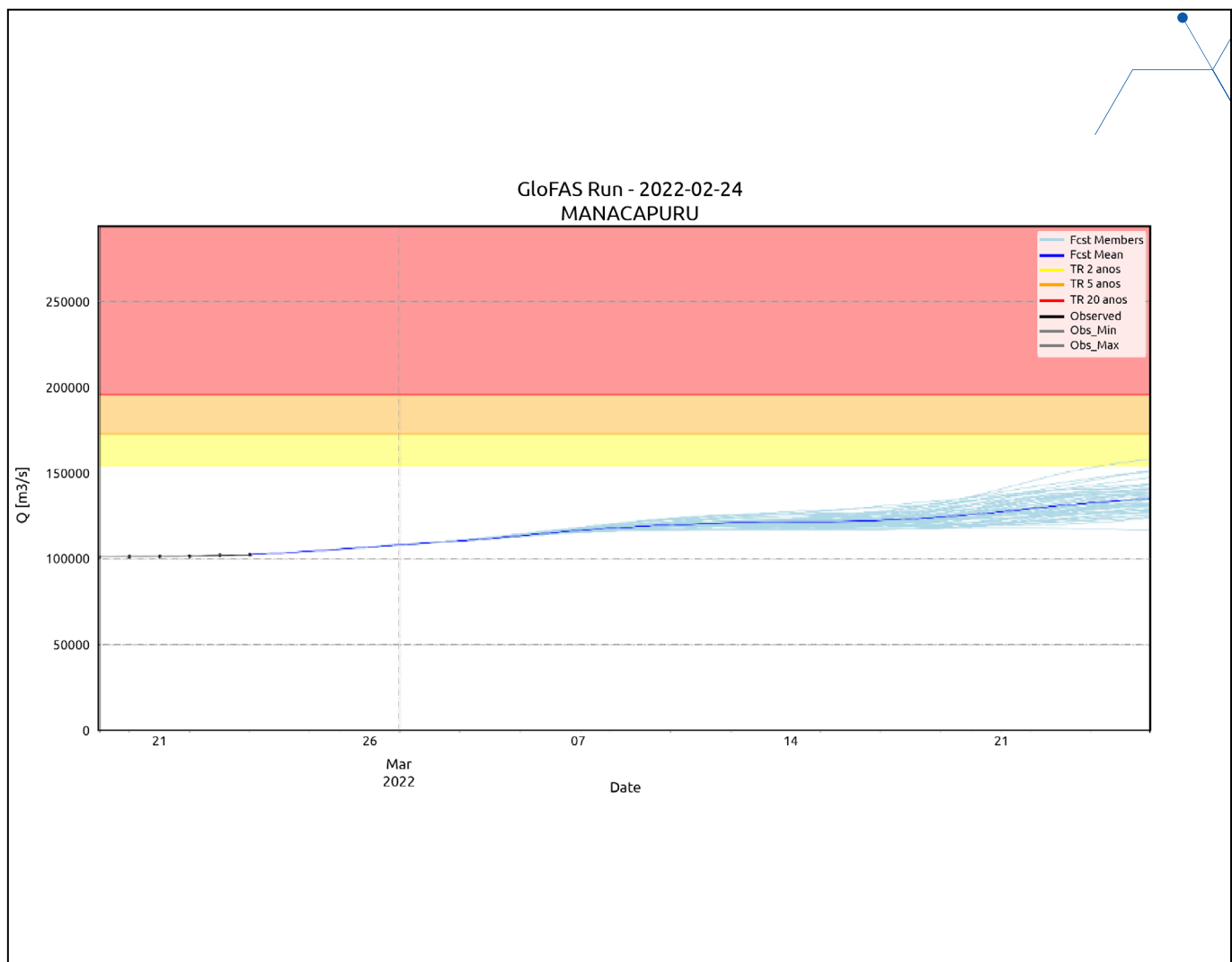


Figura 72: Hidrograma com as condições atuais e previsões segundo modelo GloFAS, lá tem os valores de Tempo de Retorno (TR) de 2, 5 e 10 anos. Se encontra em condições normais atualmente. Fonte: GloFAS.

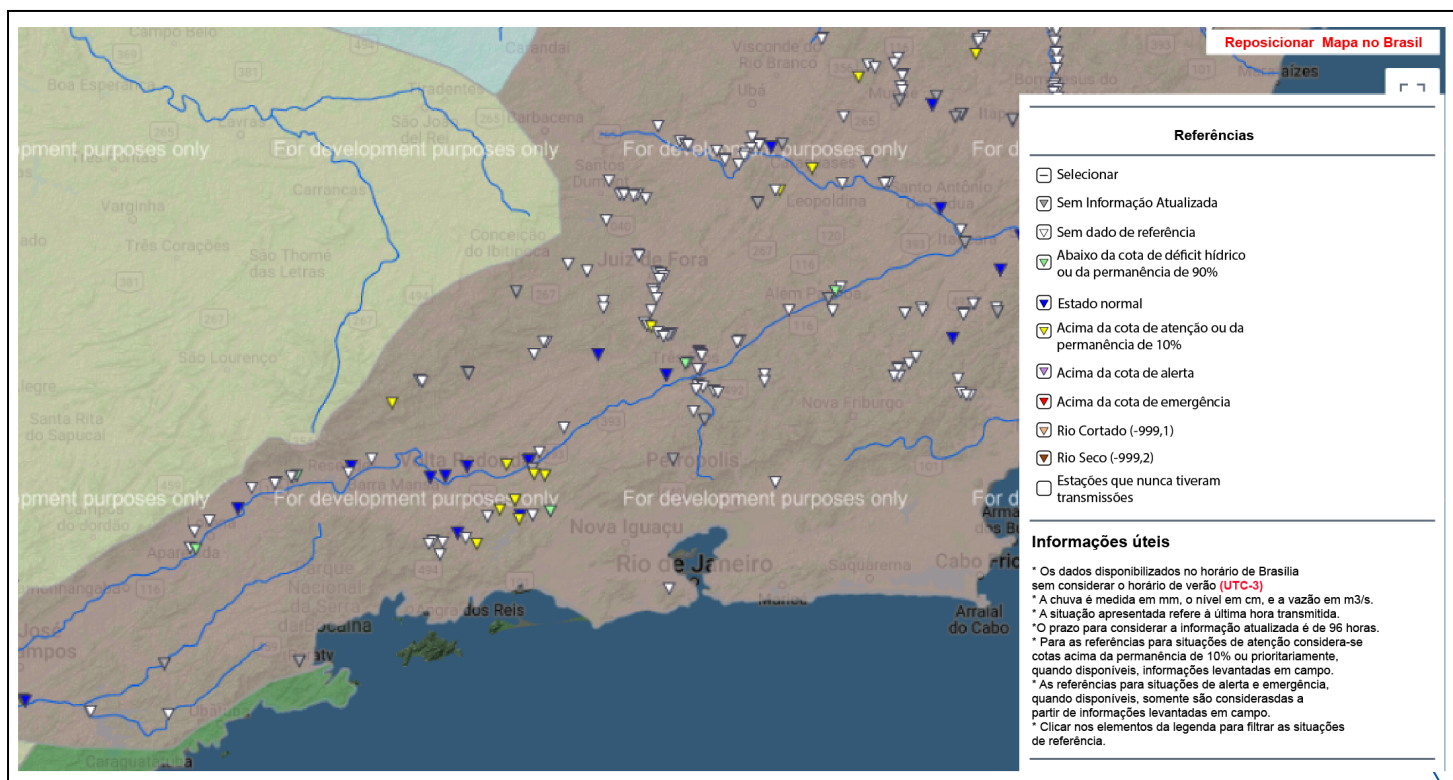


Figura 73: Mapa de estações da rede telemétrica ANA mostrando o estado atual dos níveis dos rios na região do Vale do Paraíba, Rio de Janeiro nas bacias do Atlântico trecho leste, triângulos em amarelo mostram valores que estão acima do valor de permanência de 10%.

Fonte: snirh.gov.br.

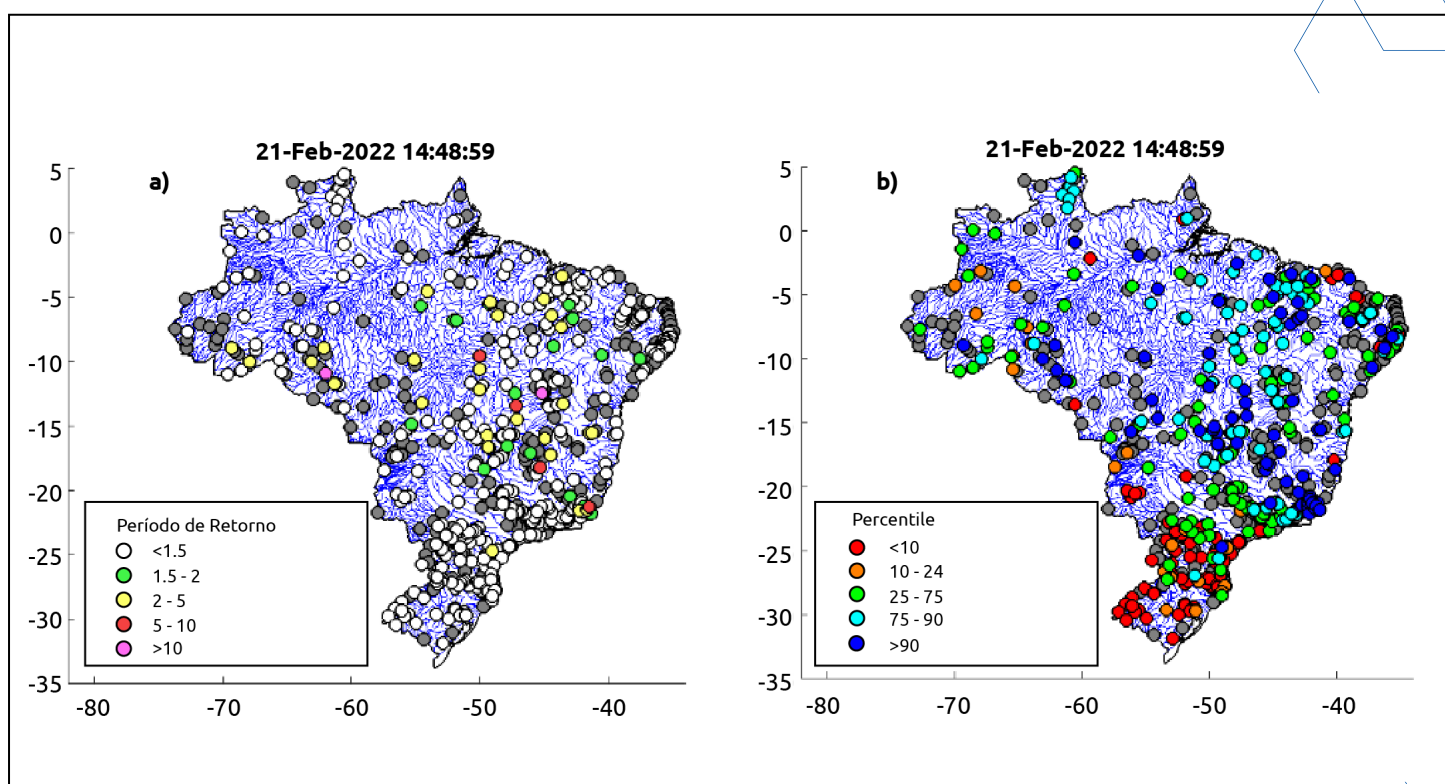


Figura 74: Mapa de estações da rede telemétrica ANA mostrando o estado atual dos níveis dos rios para todo o Brasil em termos de período de retorno (a) e percentil (b). Na figura pode se identificar regiões onde os níveis encontram-se na normalidade (abaixo do PR 1,5) e outras com o PR>10 (onde provavelmente tem já transbordamento); também observam-se áreas com Percentil <10, que estão numa fase de estiagem, e outras com o percentil >90, onde já requer atenção e monitoramento ativo. Fonte: Informação processada pelo Cemaden sob dados da rede telemétrica ANA.

Uma outra abordagem, já um pouco mais sofisticada e precisa para a previsão de eventos hidrológicos, consiste em fazer uma simulação dos principais processos do ciclo hidrológico numa bacia hidrográfica e transformá-los em um hidrograma de inundação. Esse processo é conhecido como modelagem. De acordo com os vários conceitos e técnicas usados no desenvolvimento de modelos, estes podem ser classificados nas seguintes categorias:

- » Baseado em equações matemáticas desenvolvidas por meio de correlações e técnicas de regressão entre duas ou mais variáveis, por exemplo: entre o nível em uma série de afluentes que afetam o nível de água em um determinado local ou nas relações entre a chuva numa bacia e a vazão resultante.

Um exemplo claro deste tipo de previsões é o usado pela CPRM nos seus diversos boletins, onde as previsões de cotas são feitas a partir de uma inferência das tendências dos níveis com base na análise gráfica de cotagramas (gráficos de níveis) observados, e históricos de estações próximas.

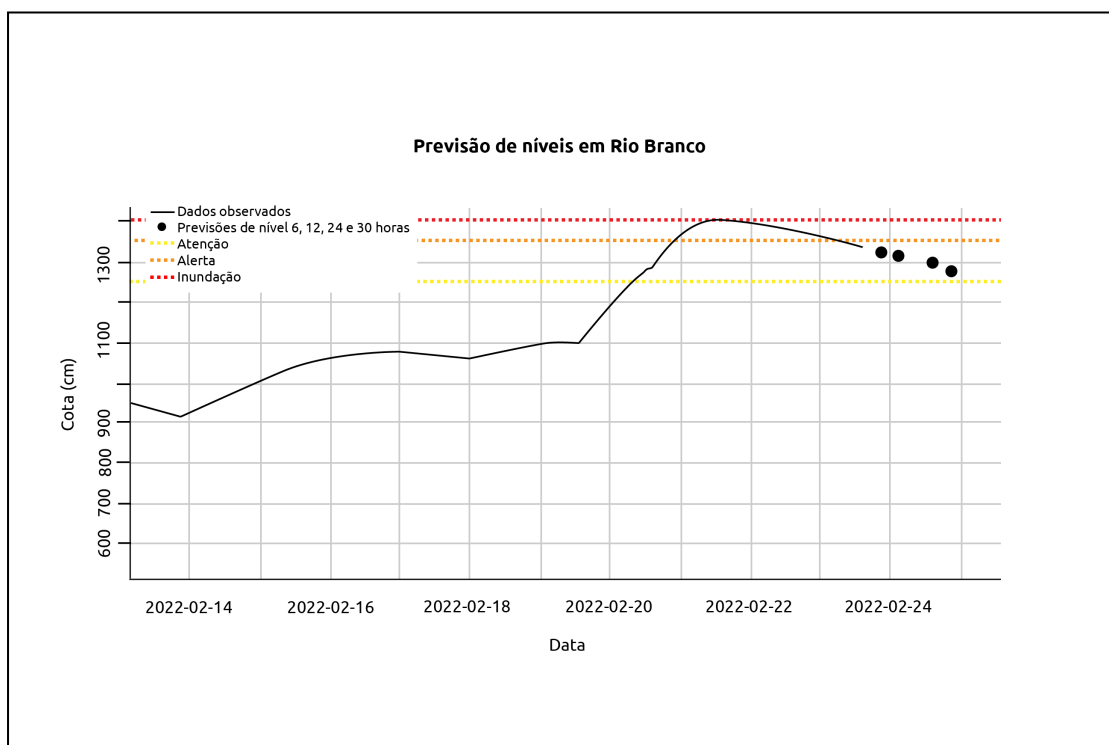


Figura 75: Previsão de níveis feita pela CPRM para o Rio Acre no município de Rio Branco (AC).
Fonte: CPRM.

Modelos hidrológicos podem ser:

Modelos chuva-vazão - Representam a porção do ciclo hidrológico entre a precipitação que ocorre sobre uma bacia hidrográfica e a vazão que escoar em um rio. Podem variar de simples representações de alguns dos processos do ciclo hidrológico (precipitação, escoamento e infiltração) até complexas interações dos movimentos da água entre os diferentes compartimentos (solo, vegetação e atmosfera).

- » **Agregado:** Neste tipo de modelo, uma determinada área de drenagem é considerada como uma única unidade e usa dados hidrológicos e meteorológicos agregados para a bacia toda. São principalmente aplicados para bacias hidrográficas de tamanho pequeno, onde se assume que a precipitação é distribuída de maneira uniforme ao interior dela, e os processos de infiltração e escoamento são representados grosseiramente por coeficientes ou fatores de ajuste.

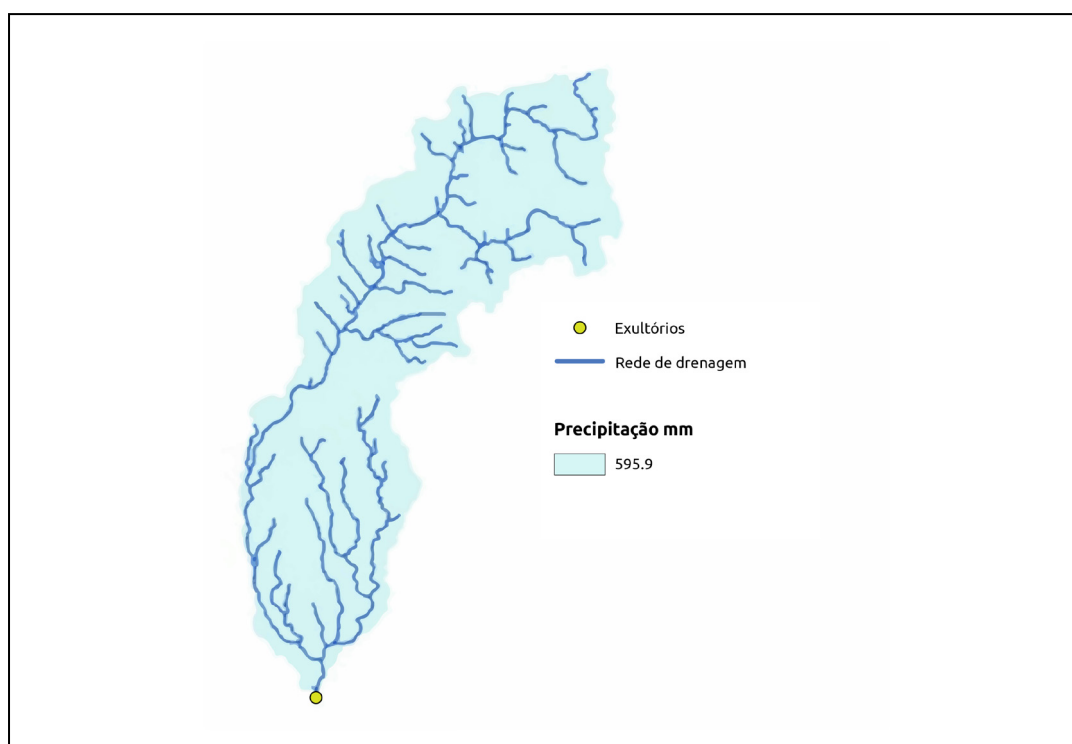


Figura 76: Exemplo de discretização do tipo agregada de uma bacia hidrográfica. Fonte: Elaborado pelo autor.

O resultado é um hidrograma para o exutório da bacia. Estes tipos de modelos são geralmente usados para o desenho de obras de engenharia em bacias urbanas e rurais pequenas.

- » **Semi-distribuído:** A bacia já é dividida em sub-bacias ou grades e os diferentes parâmetros são agregados e calculados nesse nível de detalhamento. Isso permite representar melhor a variabilidade espacial dos diferentes processos do ciclo hidrológico para o interior da bacia. Os hidrogramas resultantes para cada porção ou sub-bacia são então roteados e vão se acumulando a jusante.

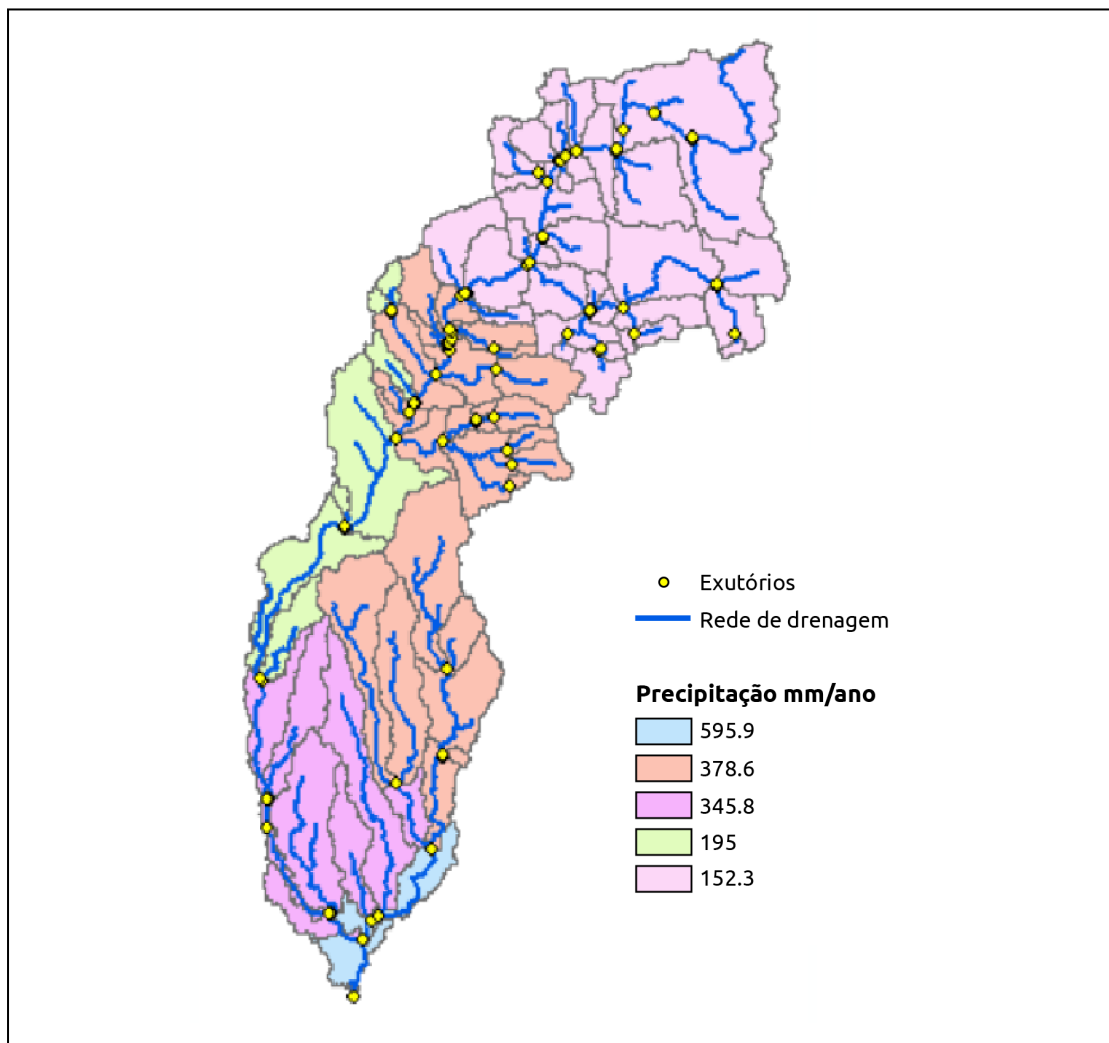


Figura 77: Exemplo de discretização semi-distribuída de uma bacia hidrográfica. Fonte: Elaborado pelo autor.

- » **Distribuído:** A bacia já é dividida em uma quantidade maior e mais fina de sub-bacias ou grades de maior resolução. Os diferentes parâmetros do ciclo hidrológico são resolvidos e agregados para cada sub-bacia ou elemento da grade. Representando assim, a variabilidade dos processos ao interior da bacia de um jeito ainda mais aproximado da realidade. Se tem como resultado simulações de vazão para diferentes pontos ao longo da bacia, facilitando uma análise mais integral e completa da resposta da bacia aos diferentes tipos de chuva e até pode se simular a resposta a certas estratégias de manejo dos recursos ao interior da bacia (resposta a mudanças de uso do solo, práticas agrícolas, etc).

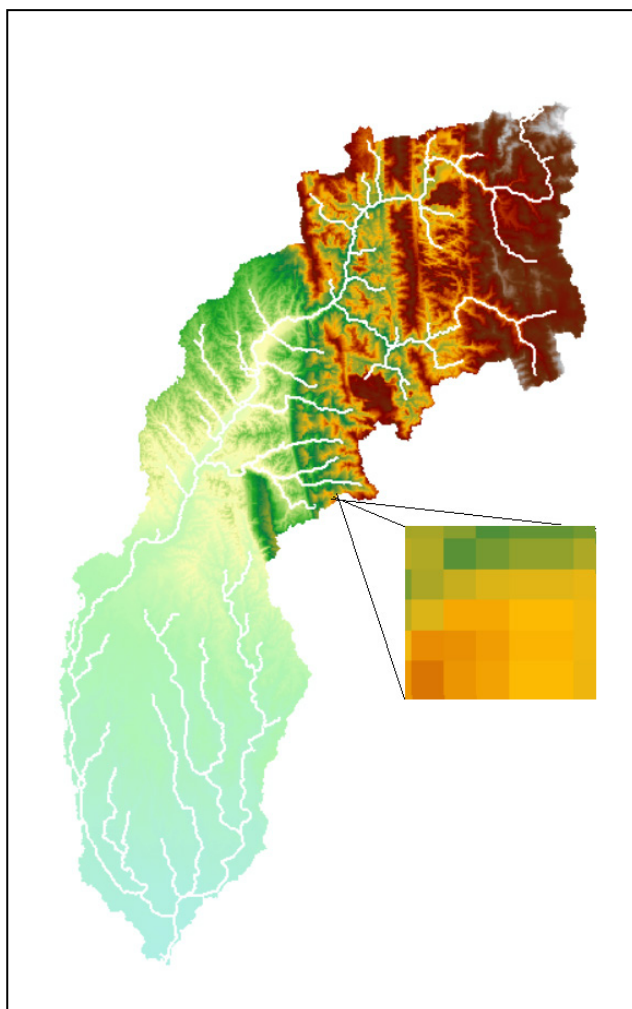


Figura 78: Exemplo de discretização do tipo totalmente distribuída de uma bacia hidrográfica. Fonte: Elaborado pelo autor.

Modelos hidráulicos: um modelo hidráulico é um modelo matemático de um sistema de fluxo de fluido (neste caso água) e é usado para analisar o comportamento hidráulico e simular o jeito que água pode se deslocar mesmo dentro da calha do rio ou através da planície de inundação. Tem como insumo primário a vazão numa determinada porção do rio, e por tal motivo,

são geralmente usados em combinação com modelagem hidrológica. Uma das maiores utilidades deste tipo de modelagem é permitir mapear as áreas susceptíveis de inundação em função das vazões ou níveis do rio.

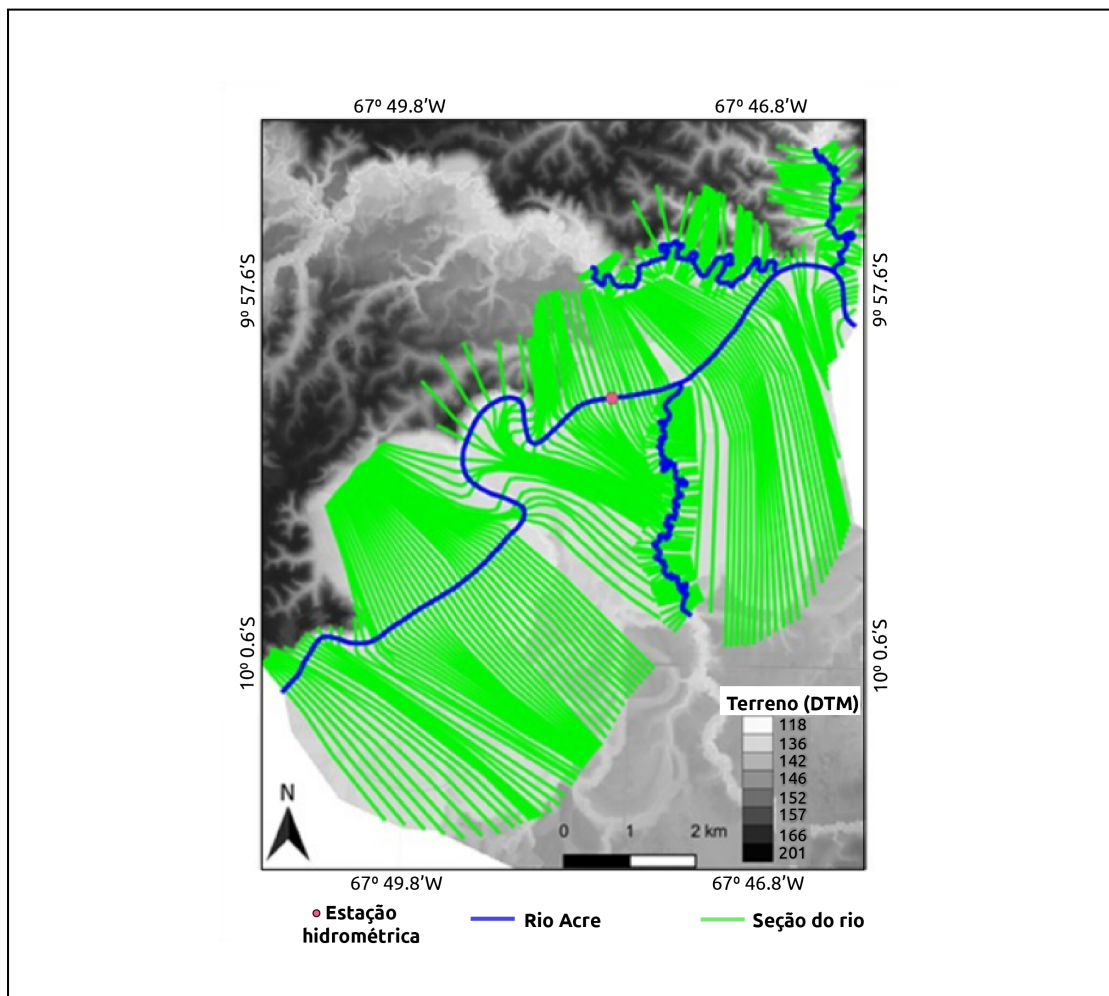


Figura 79: Modelagem hidráulica no município Rio Branco AC, detalhe de trecho do rio e seções transversais. Fonte: Elaborado pelo autor.

Modelos hidrológicos baseados em análise de dados de tipo neuro-mórfico: o desenvolvimento da tecnologia da informação na última década apresentou oportunidades de capacidade computacional estendida, que juntamente com manipulação, armazenamento e recuperação de dados, facilitam o surgimento deste tipo de modelagem que é baseado na construção de uma rede análise de dados, segundo um esquema neurobiológica (similar ao sistema nervoso de um ser vivo). São modelos bem mais complexos, mas com resultados prometedores. Os principais são: Redes Neurais Artificiais e Sistemas experto Fuzzy.

Discussão das limitações de cada ferramenta

Várias são as vantagens e desvantagens das diversas ferramentas para previsão de inundação. A seleção de um ou outro tipo de ferramenta vai estar em função dos objetivos a atingir e da disponibilidade de dados e informação. A seguir, foi montado um quadro resumo para cada ferramenta:

Tipo de Modelo	Vantagem	Desvantagem
Baseadas em equações matemáticas desenvolvidas por meio de correlações e técnicas de regressão	-Requer um volume pequeno de dados e informação. -Aplicável a bacia de porte pequeno	Resultados em um nível de agregação que impede analisar processo ao interior da bacia.
Modelo Hidrológico agregado	-Requer poucos dados. -Aplicável a bacia de porte pequeno	Resultados em um nível de agregação que impede estimar e analisar processo ao interior da bacia.
Modelo Hidrológico semi-distribuído	-Requer um volume relativamente moderado de dados (dependendo do tamanho da bacia a analisar). -É possível já calcular e analisar os diferentes processos ao interior da bacia -Os modelos MGB do IPH, MHD-INPE e SWAT, são exemplos de utilidade de modelos semi-distribuídos que em função da discretização escolhida (divisão em sub-bacias), podem ser usados em bacias de pequeno e grande porte.	É possível já calcular e analisar os diferentes processos ao interior da bacia.

Quadro 3: vantagens e desvantagens das diversas ferramentas para previsão de inundação.

Modelos hidrológicos associados a produtos de previsão meteorológica

Os modelos hidrológicos, como bem apontamos, possibilitam simular e representar os diferentes processos hidrológicos ao interior da bacia com diferentes níveis de acurácia e precisão. Quando o modelo hidrológico e hidrodinâmico é alimentado com informações de precipitação simulada, resultante de modelos meteorológicos numéricos de previsão de tempo, é possível prever as condições sobre esse determinado cenário.

Quando se usam resultados de vários modelos meteorológicos numéricos de previsão de tempo, que se denominam ensemble, temos um hidrograma de saída para cada modelo. A dispersão dos modelos é proporcional ao tempo de avanço da previsão. A curto prazo, os modelos coincidem; mas avançando na linha do tempo a dispersão entre eles é maior, mostrando maior incerteza.

Um claro exemplo do uso da associação de modelagem meteorológica, composto de diferentes saídas de modelos, é o que está disponível no *site* da GloFAS (Global Flood Awareness System). Lá é possível encontrar um modelo hidrológico/hidráulico que é rodado com insumos de precipitação de um conjunto de resultados do modelo do Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio Prazo (ECMWF), tendo como resultado uma previsão da vazão num trecho de rio determinado.

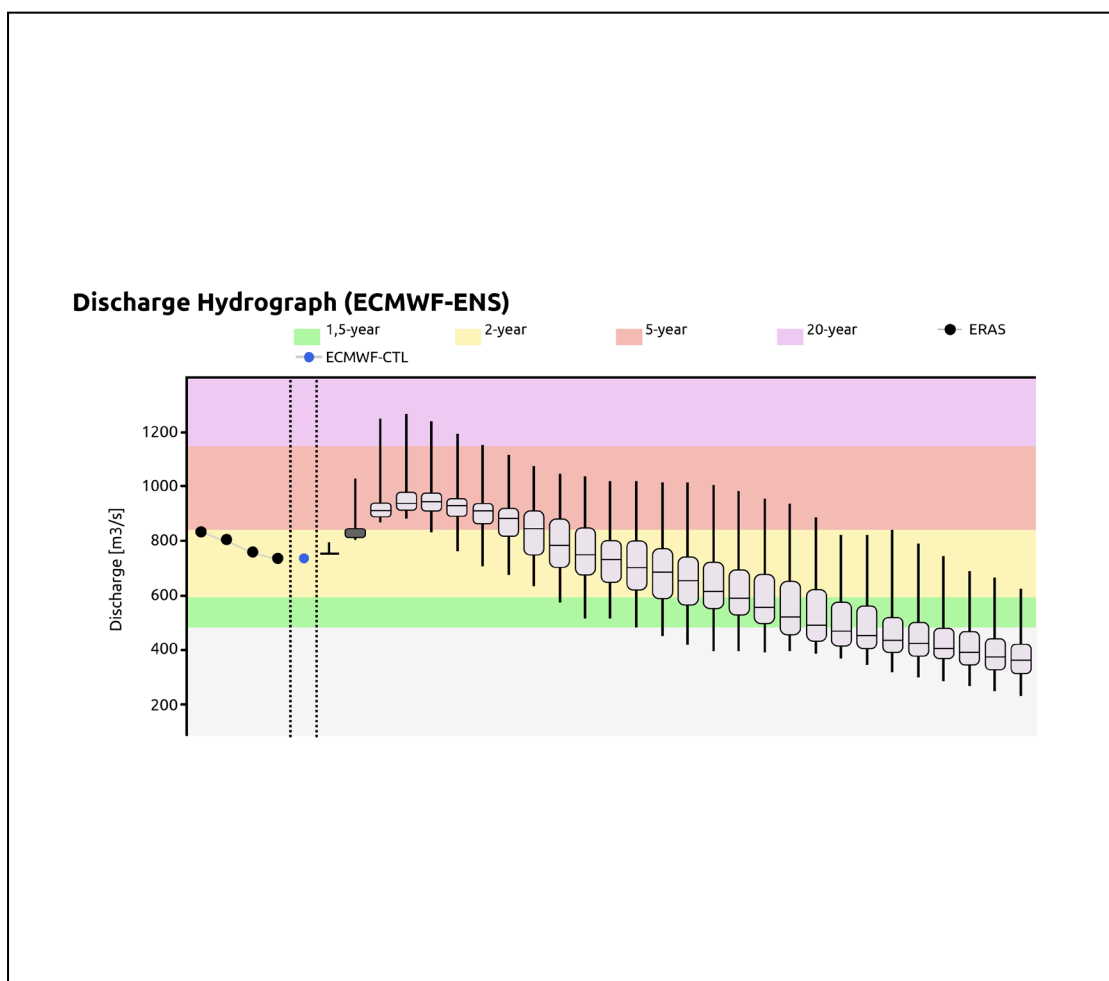


Figura 80: Vazão atual e prevista pelo modelo hidrológico GLOFAS para diferentes membros do modelo meteorológico ECMWF-ENS. É possível observar que a faixa de incerteza é proporcional ao tempo de avanço da previsão (previsão a curto prazo tem maior certeza, que vai diminuindo na linha de tempo do hidrograma previsto). Fonte: GloFAS.

de inundação para um determinado trecho de rio; ainda é indispensável outro grupo de ferramentas entrar em jogo: Trata-se das referidas ferramentas de mapeamento de Risco Hidrológico, que estão inseridas dentro de um contexto maior que é a Gestão do Risco de Inundações.

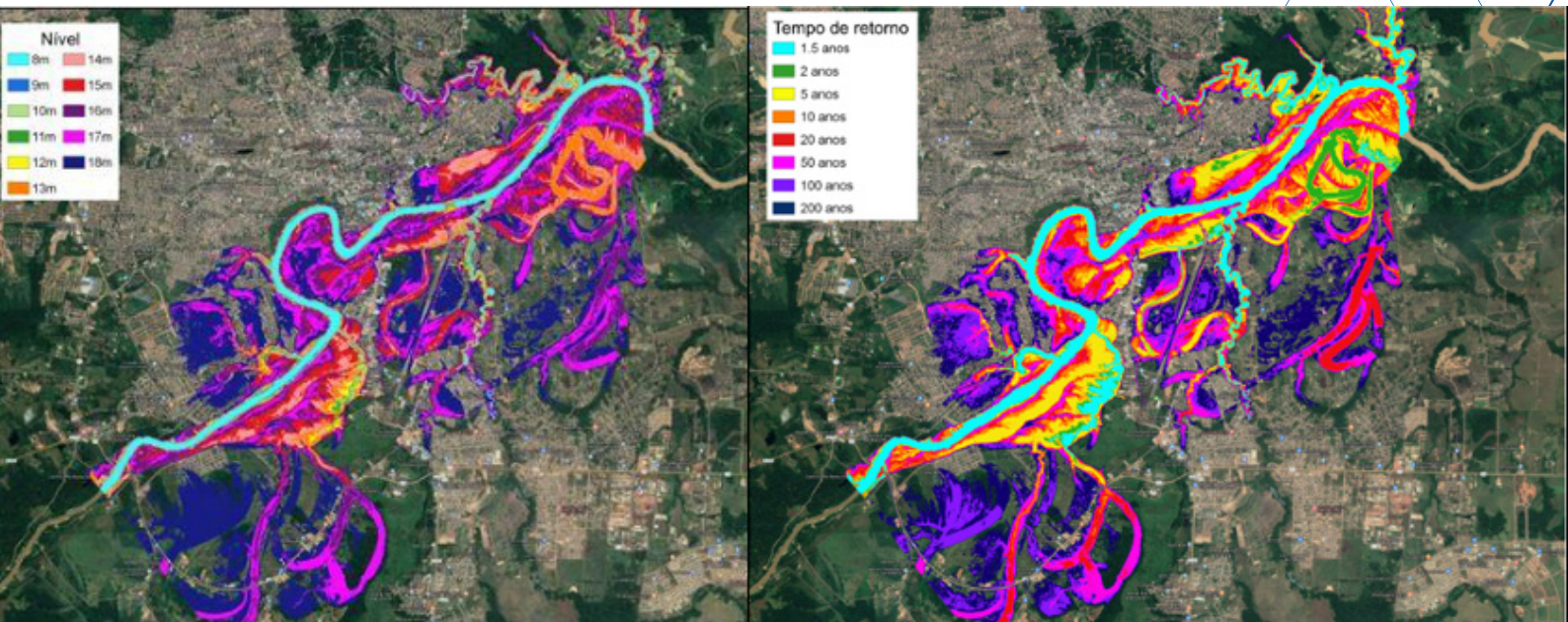


Figura 82: Mapa resultante de modelação hidrodinâmica com resolução espacial de 2m. Tempo de Retorno em função do nível do Rio - Rio Branco AC. Fonte: Cemaden.

O conceito de risco de inundação combina a probabilidade de uma inundação com suas consequências potenciais. Embora existam muitas definições de risco, geralmente é operacionalizado como uma função de três elementos de risco, que de acordo com a Estratégia Internacional das Nações Unidas para a Secretaria de Redução de Desastres (UNISDR 2011) são:

- » **Perigo (hazard):** refere-se a quão perigoso pode ser o evento de inundação em si, incluindo suas características e probabilidade de ocorrência.
- » **Exposição:** refere-se à localização de ativos econômicos ou pessoas em uma área propensa a inundações.
- » **Vulnerabilidade:** refere-se à suscetibilidade desses bens ou pessoas sofrerem danos e perdas (por exemplo, devido a condições de moradia e vida inseguras, ou falta de procedimentos de aviso prévio).

A gestão de riscos, que tem o fim de reduzir os impactos negativos, não só para inundações, mas para outros fenômenos, está no topo da agenda política mundial (Sendai Framework for Disaster Risk Reduction - UNISDR, 2015). Uma das prioridades, nesse contexto, é o mapeamento do risco de inundações, tanto a nível global como regional e local.

Atualmente, temos disponíveis diversos mapas a nível global geralmente focados no primeiro elemento de risco, o perigo ou a inundação em si, como exemplos, temos o GLOFAS (Global Flood Awareness System) [Alfieri et al.,2013], GFMS (Global Flood Monitoring System-), e a Dartmouth Flood Observatory . A falta de mapas de risco de inundações, que contenham os três elementos definidos pelo UNISDR, tanto a nível local como regional, se deve ao fato de que são necessárias um conjunto de informações socioeconômicas de respaldo, geralmente difíceis de obter. No caso do Brasil temos disponíveis os principais mapeamentos a respeito:

- » **Mapas de risco hidrológico gerados pela CPRM:** trata-se de mapas de áreas onde já se tem verificado a ocorrência de eventos de inundação com impactos relativamente consideráveis. A informação socioeconômica e de impactos observados, disponível para cada um dos locais ao longo do país, não é padronizada.



Figura 83: Áreas de risco hidrológico CPRM. Fonte: CPRM.

- » **Atlas de vulnerabilidade da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA):** Trata-se de uma classificação de diferentes trechos de rio (segmentos) com base na frequência de ocorrência de eventos extremos, no impacto observado, e, em função desses 2 parâmetros, foi-lhes atribuída também uma classe de vulnerabilidade.



Figura 84: Trechos de rio classificados em base a seu nível de impacto de inundações (vermelho - Alto; amarelo - Médio; verde - Baixo). Fonte: ANA, 2014.

No primeiro caso é evidente que ficaram fora do mapeamento locais onde não se tem verificado, ainda, a ocorrência de um evento de inundação de alta severidade. Por isso, ele não pode ser usado como um mapa susceptibilidade à inundação. No segundo caso (figura x), o fato de ser um mapa baseado em segmentos (linhas) impede a análise combinada com outras camadas de informação relevantes em áreas correspondentes às manchas de inundação.

No Brasil, temos exemplos de mapeamentos mais elaborados de susceptibilidade, exposição e impacto das inundações a nível local, onde a sobreposição de mapas de inundação com outras camadas temáticas como infraestrutura, permitem uma quantificação e classificação do nível de impacto.

Fica evidente a necessidade de investir na geração de um mapa de risco hidrológico à escala do país. O desenvolvimento de diferentes modelos hidrológicos/hidráulicos, informação de sensoriamento remoto e a sistematização de informação socioeconômica vão contribuir para o processo.

**Limiares de referência de inundação para Rio Branco-AC.
A sigla TR significa tempo de retorno.**

Referência de Impacto	Referência de Alerta	Cota (m)	Sistema Viário (m)	Edificações (No)	TR (ano)	Eventos (No)	Eventos (%)
Baixo	Moderado	11,25	755	1	1	25	51,02
Moderado	Alto	15,25	24.079	1.867	5	20	40,82
Alto	Muito Alto	17,35	113.170	8.844	56	4	8,16

Quadro 4: Exemplo de limiares de referência e classificação de impacto potencial em Rio Branco/AC. Fonte: Elaborado pelo autor.

Aspectos técnicos dos extremos geo-hidrológicos no país e as diferenças regionais

6



**Processos de movimento
de massa**

Conceituação teórica e classificação dos processos de movimentos de massa

Introdução

Neste módulo, vamos conhecer os processos de movimentos de massa e suas particularidades regionais no Brasil. Além disso, iremos entender como a urbanização influencia na ocorrência de movimentos de massa, desde os frequentes eventos pontuais até os mais raros eventos generalizados.

Este trabalho discute conceituação teórica e classificação dos movimentos de massa com base na COBRADE (Classificação e Codificação Brasileira de Desastres), a classificação oficial para o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil no Brasil. Aqui serão apresentados os agentes deflagradores dos processos e ao final, uma síntese da regionalização dos tipos de movimentos de massa no Brasil, a discussão sobre como a urbanização influencia no aumento de eventos pontuais e induzidos.

O que são os processos de movimentos de massa

Os movimentos de massa são processos que ocorrem naturalmente modificando a forma das encostas, principalmente em áreas com maiores declividades. Esses processos se tornam preocupantes quando ocorrem em encostas ocupadas, expondo pessoas ao risco de perda da vida e seus bens materiais. Todos os anos são registradas ocorrências de centenas a milhares de **eventos** de movimentos de massa no Brasil. Estes podem ser pontuais, sendo de pequena magnitude e muitas vezes são induzidos. Quando são

Considera-se como evento, cada deslizamento em si, desde os de pequeno porte, que não chegam a atingir pessoas direta ou indiretamente até aqueles que resultam em maior impacto.

descritos como induzidos, significa que houve alteração da encosta por ação humana. Essas alterações podem ser principalmente: por corte para construção de vias ou edificações, nesse caso há retirada de parte do material da encosta, resultando em um aumento da declividade e redução da sua estabilidade; ou por aterro, ou seja, material levado de um outro local é colocado na encosta, visando ampliar a área útil para uma edificação (Figura 85).

Cada um destes eventos pontuais, tendem a resultar em um menor impacto à população, afetando menos pessoas por evento, mas isso não impede que resulte em perdas humanas e materiais (UNISDR-AM, 2013). O grande problema dos eventos pontuais e induzidos é sua alta frequência, já que eles ocorrem todos os anos, mantendo a população que habita as áreas de risco sempre com medo da sua moradia ser afetada.

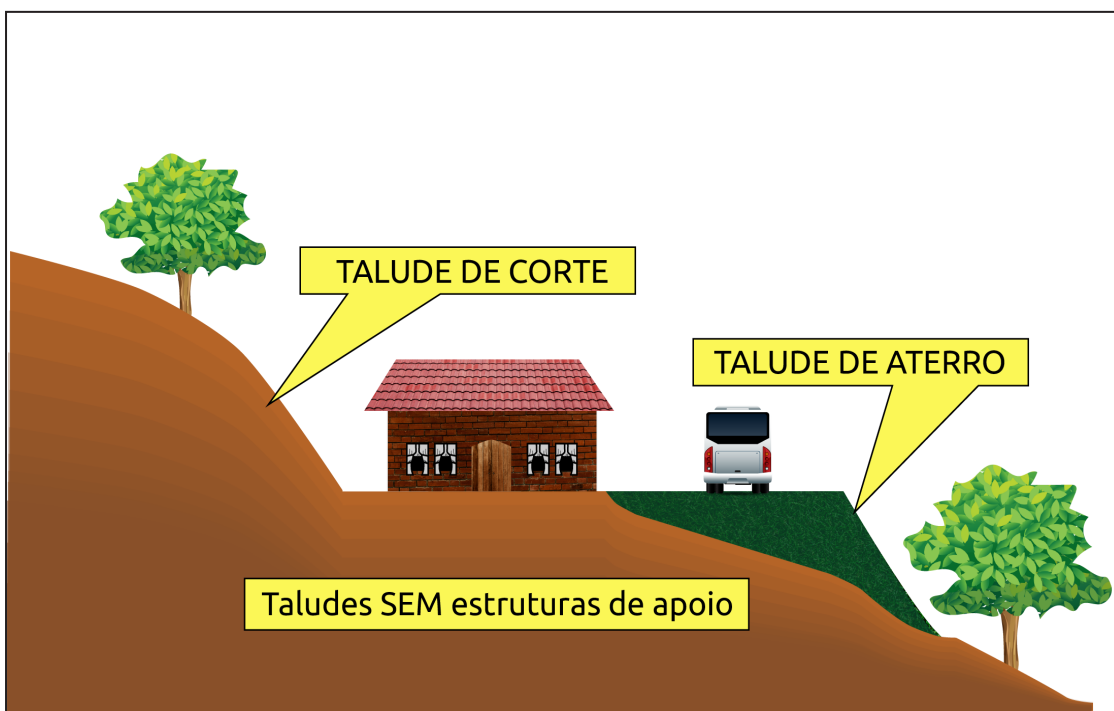


Figura 85: Representação corte e aterro em encosta. Fonte: UFJF.

Além dos tão comuns eventos pontuais, eventualmente, podem ocorrer movimentos de massa generalizados (Figura 86), resultantes de evento extremo de precipitação, por exemplo. Estes são mais raros, porém quando ocorrem, afetam grandes áreas e dependendo do grau de ocupação da região podem afetar muitas pessoas (podendo levar a óbito dezenas ou centenas), além da perda material na escala de milhões de reais.



Figura 86: Movimentos de massa generalizados observados em Nova Friburgo, Região Serrana do Rio de Janeiro, em janeiro de 2011. Fonte: Veja.











Os chamados movimentos de massa, incluem processos de deslizamento de solo e/ou rocha, queda e rolamentos de rocha, entre outros. Para tanto, existem diferentes classificações destes processos, descrevendo cada um dos movimentos de massa. Para as classificações, são usados critérios variados, como: velocidade e direção do movimento, assim como a recorrência dos eventos; natureza do material (solo, rocha, detritos e depósitos), sua textura, estrutura e conteúdo de água; geometria; e tipo de deformação do movimento.

Classificação dos processos de movimentos de massa segundo a COBRADE

A classificação oficial no Brasil, utilizada pelo Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil, é descrita pela COBRADE (Classificação e Codificação Brasileira de Desastres), conforme publicado pelo CENAD (2013). Segundo a COBRADE, os desastres podem ser naturais ou tecnológicos.

Os desastres do grupo geológico são classificados como desastres naturais e são divididos em quatro subgrupos:

- » 1. Terremoto;
- » 2. Emissão vulcânica;
- » 3. Movimentos de massa e;
- » 4. Erosão.

Subgrupo	Tipo	Subtipo	COBRADE	Símbolo
1. Terremoto	1. Tremor de terra	-	1.1.1.1.0	
	2. Tsunami	-	1.1.1.2.0	
2. Emissão vulcânica	-	-	1.1.2.0.0	
3. Movimentos de massa	1. Quedas, tombamentos e rolamentos	1. Blocos	1.1.3.1.1	
		2. Lascas	1.1.3.1.2	
		3. Matações (Matações)	1.1.3.1.3	
		4. Lajes	1.1.3.1.4	
	2. Deslizamentos	Deslizamentos de solo e/ou rochas	1.1.3.2.1	
	3. Corridas de massa	1. Solo/Lama	1.1.3.3.1	
2. Rochas/Detritos		1.1.3.3.2		
4. Erosão	4. Subsídências e colapsos	-	1.1.3.4.0	
	1. Erosão costeira/Marinha	-	1.1.4.1.0	
	2. Erosão de margem fluvial	-	1.1.4.2.0	
	3. Erosão continental	1. Laminar	1.1.4.3.1	
		2. Ravinas	1.1.4.3.2	
3. Voçorocas (Boçorocas)		1.1.4.3.3		

Quadro 5: Síntese dos tipos de desastres naturais e geológicos classificados pela COBRADE. Fonte:mdr.gov.br.

Os terremotos e tremores de terra podem ser detectados no Brasil, porém são raros os eventos que causam danos, em geral quando ocorrem danos, são resultantes de baixa qualidade das edificações, não seguindo os parâmetros

definidos pela ABNT NBR 15.421 (ABNT, 2016), que define as zonas que precisam ter edificações mais resistentes a esses processos. A Figura 87 apresenta a espacialização dos epicentros de sismos que ocorreram, com a indicação de sua intensidade, todos em profundidade inferior a 30 km, considerados sismos rasos.

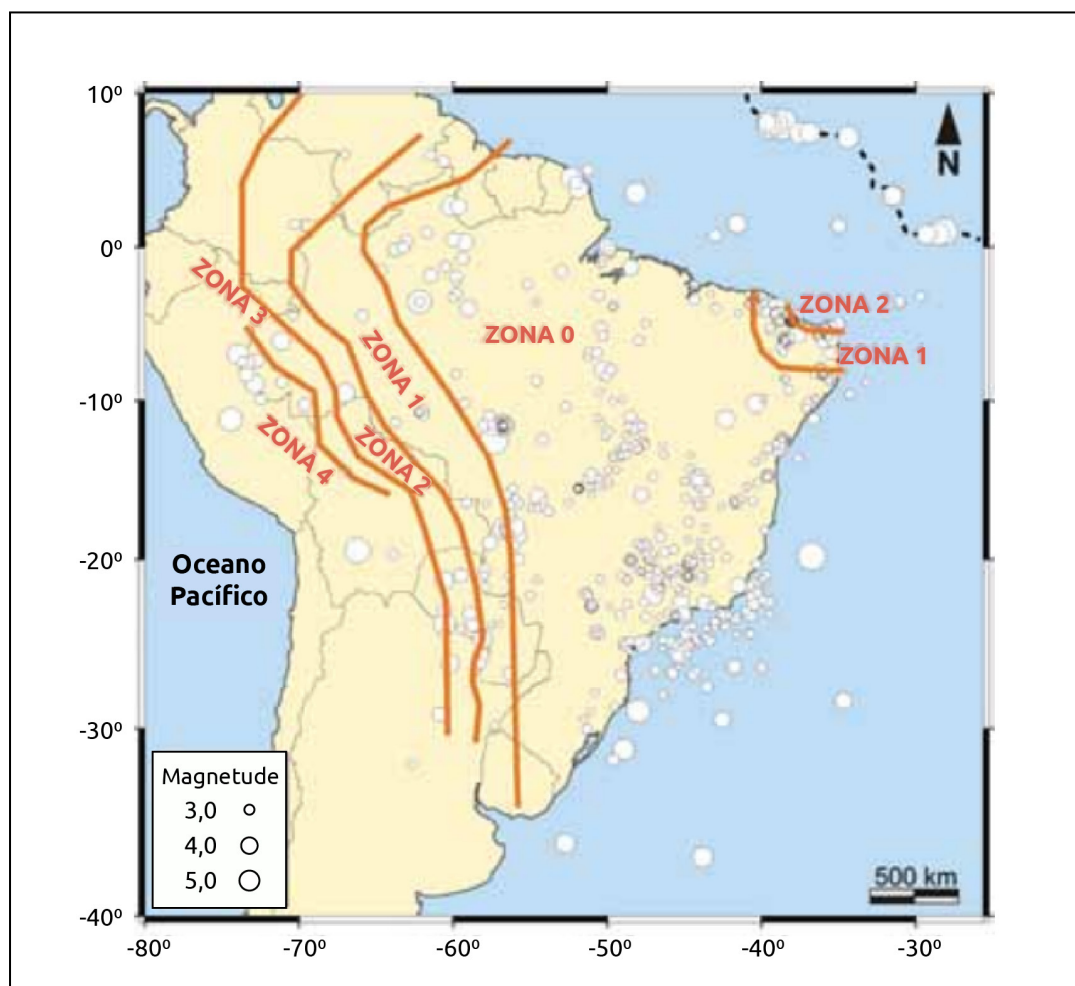


Figura 87: Mapa de sismicidade do Brasil e zoneamento das regiões mais críticas. Fonte: Boletim Sísmico Brasileiro, IAG-USP, 2010.

Em relação às emanações vulcânicas, não há vulcão ativo no Brasil, porém eventualmente somos afetados pela presença de cinzas vulcânicas sobre algumas regiões do país, devido às emanações vulcânicas ocorridas na Cordilheira dos Andes. Essas cinzas são trazidas pela circulação atmosférica, podendo influenciar o tráfego aéreo, sendo necessário cancelar voos em alguns aeroportos. A respeito dos processos de erosão, a COBRADE tipifica em três tipos:

- » Erosão costeira/marinha;
- » Erosão de margem fluvial;
- » Erosão continental (laminar, ravinas e boçorocas/voçorocas).

A erosão é um processo natural de modificação da paisagem, em que os sedimentos são levados do seu local de origem para outro local, sendo transportados pela água ou mesmo pelo vento até se depositarem. Quando se faz alteração da paisagem como na expansão das áreas urbanas, caso essas mudanças sejam feitas sem adequada atenção, os processos erosivos podem resultar em problemas à população.

A erosão costeira/marinha ocorre nas linhas da costa, algumas das alterações do ambiente que podem intensificar esse processo são: a retirada de manguezais, que entre outras funções, tem o papel importante de reduzir o impacto da água na costa. Vegetações rasteiras, como os jundus, são responsáveis pela preservação dos depósitos de areia nas praias que contém as ressacas.

Quando a costa é modificada por construção de edificações e vias, canalização de rios que desembocam no mar, tudo isso influencia na dinâmica costeira, que está em constante movimento. Ou seja, a ordem natural de transporte de sedimento é alterada, podendo resultar em maior erosão em um dado local e maior deposição em outro, dependendo das correntes que chegam à costa. Assim, com a ocupação mal planejada em regiões litorâneas, observa-se problemas de perdas e danos de ruas, calçadas e até edificações, pela perda de sedimentos, resultante de erosão costeira.

A erosão fluvial pode ser intensificada pela ocupação nas margens dos rios, retificações de canais resultando em maior velocidade da água, impermeabilização de grandes áreas em bacias hidrográficas, resultando em maior volume de água que escoam superficialmente, por exemplo. Para proteger essas áreas, existe a legislação ambiental (Lei 9.985/2000) que define as Áreas de Proteção Permanente (APP), ou seja, áreas que precisam ser preservadas às margens



dos canais fluviais. Na Região Norte do Brasil, nos rios da bacia amazônica, esse processo é conhecido como 'terras caídas', como será mais detalhado no tema Regionalização.

Nas áreas distantes da costa e das margens dos rios podem ocorrer outros tipos de processos erosivos: os laminares e os lineares. Os laminares são aqueles superficiais, em que partículas da camada mais superficial do solo são levadas pela água da chuva (processo mais frequente), ou por ventos fortes (como ocorreu em 2021, no oeste da Região Sudeste e no Centro-Oeste do país) (Figura 88). Esse solo superficial tem nutrientes, fundamentais para a agricultura e sua perda recorrente pode resultar em prejuízos para a produção agrícola.



Figura 88: Nuvem de poeira sobre a cidade de Ribeirão Preto no dia 26/09/2021. Fonte: G1.

Já a erosão linear ocorre quando a água que escoar pelo terreno encontra uma linha de drenagem e com a turbulência da água carrega sedimentos. Primeiro são formados sulcos, que são canais rasos, podendo evoluir para ravinas, que tem maior largura e profundidade e podem ainda evoluir para voçorocas, que são erosões tão grandes em área e profundidade, que

chegam a atingir o nível freático, mantendo escoamento de água constante em sua base (no fundo).

As ravinas são responsáveis por causar problemas em ruas e estradas não pavimentadas, dificultando o acesso. As voçorocas, quando ocorrem em áreas urbanas, em geral estão relacionadas a um sistema deficitário de drenagem da água da chuva e podem causar danos, avançando para áreas ocupadas. Outro subgrupo de desastre natural do grupo geológico da COBRADE é dos processos de movimentos de massa, processo que será mais detalhado neste módulo. Dentre eles há quatro tipos descritos:

- » Quedas, tombamentos e rolamentos de blocos, lascas, matacões (matacões) e lajes;
- » Deslizamentos de solo e/ou rocha;
- » Corridas de massa podendo ser de solo/lama ou de rocha/debritos;
- » Subsidiências e colapsos.

As quedas de blocos são movimentos rápidos e acontecem quando partes da rocha se soltam em encostas muito íngremes, num movimento em queda livre. Os tombamentos de blocos são movimentos de massa em que ocorre rotação de um bloco de solo ou rocha em torno de um ponto, tombando na sua base, como o caso de Capitólio em 2022, que causou grave acidente.

Os rolamentos de blocos são movimentos de blocos rochosos que descem uma encosta rolando. As quedas de lascas, por sua vez, são movimentos rápidos e acontecem quando pedaços das rochas se soltam em encostas muito íngremes, em queda livre.

Já os rolamentos de matacões são caracterizados por movimentos rápidos e acontecem quando uma grande rocha se solta e rola pela encosta. Por fim, as



quedas de lajes são movimentos rápidos e acontecem quando pedaços de rochas de grande superfície, mais ou menos plana e de pouca espessura se soltam em encostas muito íngremes, em queda livre (Figura 89).

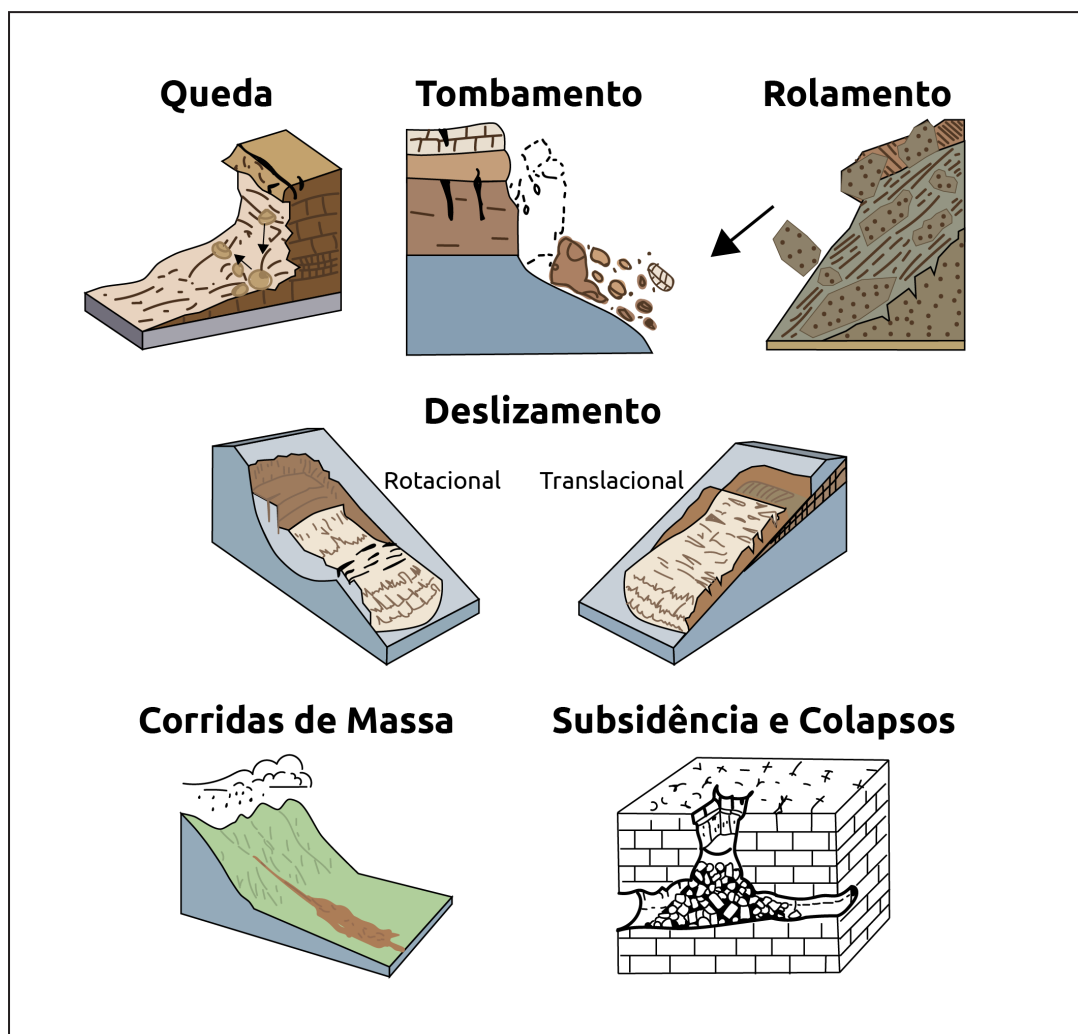


Figura 89: Representação dos tipos de movimentos de massa. Fonte: Unesp.

Os deslizamentos são descritos pela COBRADE como movimentos rápidos de solo ou rocha, que apresentam superfície de ruptura bem definida. Em geral, com massas de solo/rocha se deslocando para baixo e para fora da encosta.

Frequentemente, os primeiros sinais, antes desses movimentos acontecerem, são o aparecimento de fissuras, trincas no terreno ou nas paredes das casas, muros embarrigados, árvores e postes inclinados, indicando que há movimentação do solo.

Os deslizamentos são classificados ainda como rotacionais ou planares, podendo ocorrer a combinação de ambos os processos associados, os denominados deslizamentos compostos. Os deslizamentos rotacionais são caracterizados pelo movimento do material mobilizado sobre uma superfície de ruptura curva e côncava. É mais comum que este processo ocorra em solos mais profundos e com material mais homogêneo.

Os deslizamentos planares são bastante frequentes, é comum observar que há uma superfície plana por onde o material desliza rapidamente, bem rasa (de até quatro metros de profundidade). Podem abranger pequenas áreas, mas há outros eventos em que o deslizamento abrange grandes extensões. Às vezes, essa ruptura acontece entre o contato do solo com a rocha, deslizando o solo, deixando a rocha exposta, como no caso da pousada que foi destruída pelo deslizamento que aconteceu no Ano Novo de 2010, na Ilha Grande, em Angra dos Reis (Figura 90). Mas acontecem deslizamentos desse tipo entre camadas de solo, pela variação da permeabilidade da água, ou mudança na estrutura do solo.

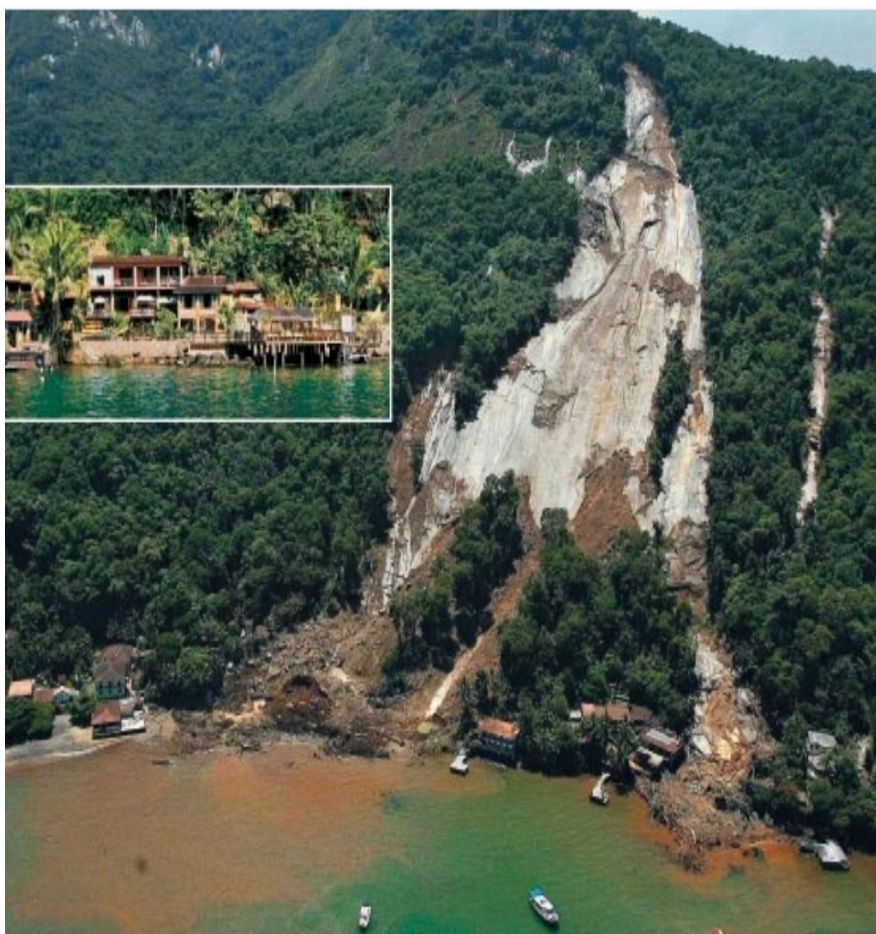


Figura 90: Deslizamento que ocorreu na praia do Bananal, atingindo pousada e casas na Ilha Grande, Angra dos Reis, no Ano Novo de 2010. O solo deslizou, deixando a rocha exposta. Fonte: Veja.



As corridas de massa, também chamadas de fluxo de detritos, ocorrem em locais que se têm vales encaixados e ocorre volume de precipitação extrema (muita chuva em pouco tempo) resultando na movimentação de solo e lama. Todo o material que estiver no caminho pode ser levado, causando estrago por onde passa, isso inclui rochas, troncos de árvores, partes das edificações que já foram destruídas. Todo esse material misturado com a água, se comporta como um líquido viscoso, com alto poder destrutivo atingindo uma grande área.

A subsidência e o colapso resultam no afundamento do terreno devido ao colapso de cavidades, ou seja, parte da superfície cai, após haver perda da estabilidade do terreno, devido à variação no preenchimento dos poros do solo ou pela ocorrência de deformação de material argiloso. Outra causa possível é quando parte da água já escoava em subsuperfície nesses locais, formando "*piping*", um processo de erosão abaixo do nível do solo, abrindo cavidades no solo, quando se perde a resistência, o solo que está na superfície cede. Isso acontece em algumas regiões apenas, com características próprias dos solos.

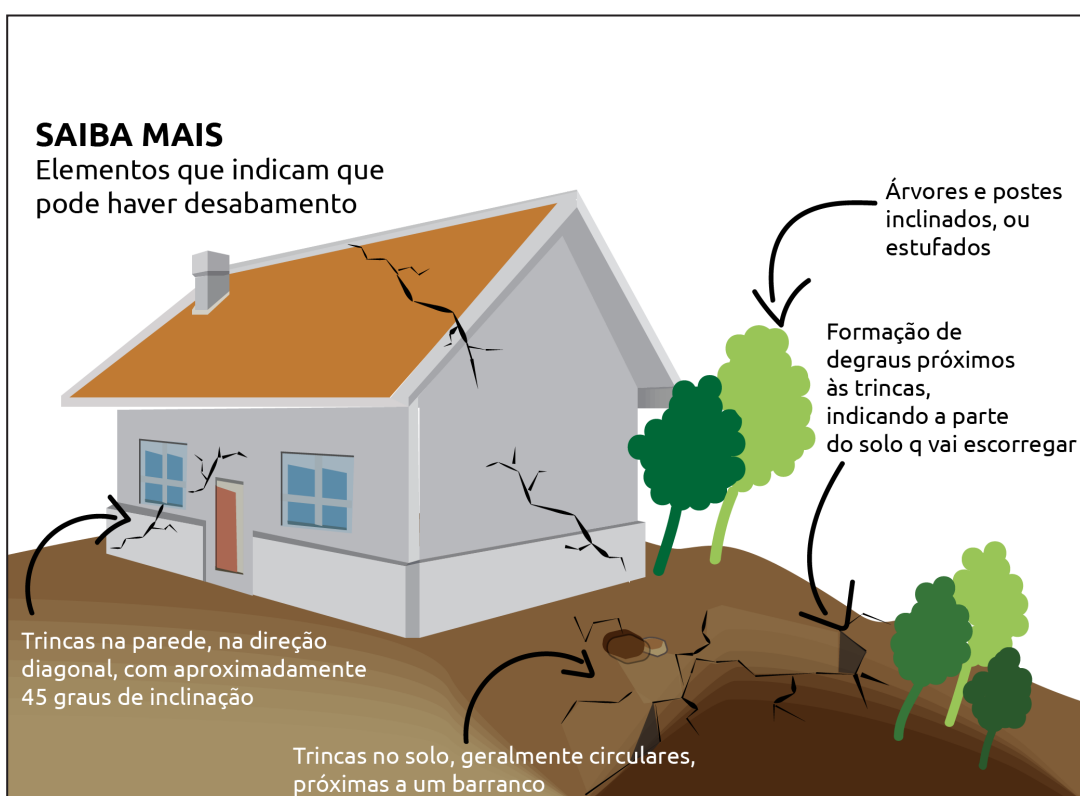


Figura 91: Primeiros sinais de que podem acontecer deslizamentos. Fonte: otempo.

Geralmente os primeiros sinais de podem ocorrer movimentos de massa, são: presença de fissuras, trincas no terreno ou nas paredes das casas, muros embarrigados, árvores e postes inclinados, indicando que há movimentação do solo (Figura 91).

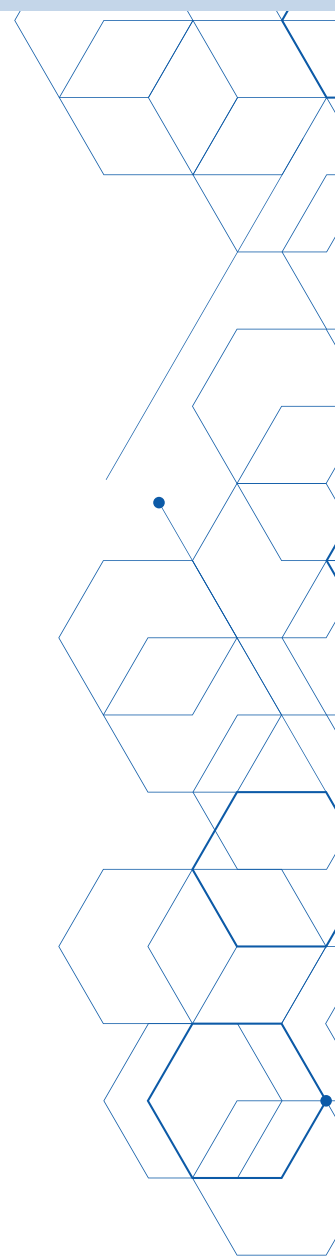
Agentes deflagradores

Neste item, serão apresentados os fatores que influenciam na suscetibilidade aos processos de movimentos de massa, mais especificamente, aos deslizamentos, primeiramente serão abordados os fatores internos, aqueles relacionados às características físicas do terreno, posteriormente, os agentes externos, como a atuação da chuva neste ambiente.

Influência do solo, da forma do relevo e a atuação da água no solo

Diversos fatores influenciam para que ocorram deslizamentos. As causas são basicamente naturais, mas podem ser agravadas por ações humanas (abordados no item “Os movimentos de massa nas cidades”). Dentre as causas naturais, os fatores que se destacam são: a ação da água, atividades sísmicas e atividade vulcânica.

No Brasil, a água da chuva é o principal fator que causa deslizamentos em áreas suscetíveis. Isso porque a forma que a água infiltra no solo, escoar sobre a superfície ou no seu interior (em sub-superfície) vai influenciar para que aconteça um evento. O tipo de chuva, dependendo da sua intensidade e duração e o acumulado em períodos maiores também tem grande importância, por isso há estudos para diferentes regiões do país, com definições de limiares críticos de precipitação, conforme será abordado no módulo 7 (Limiares).

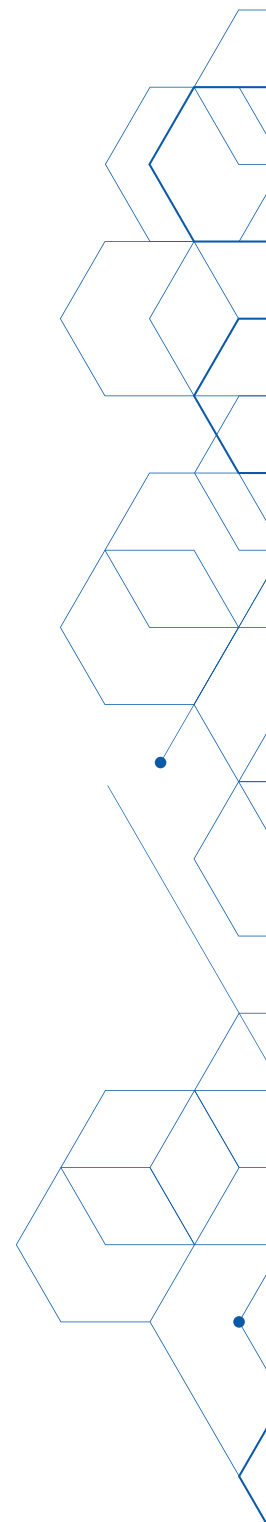


Quando chove fraco, a água infiltra gradativamente, paralela aos contatos dos horizontes do solo e se a chuva termina rápido, a estabilidade do solo é mantida, já que a infiltração tende a reduzir com o fim da precipitação. Mas se ocorre uma chuva mais intensa e duradoura, a infiltração continua por mais tempo, reduzindo a estabilidade do terreno. Neste cenário, podem acontecer deslizamentos.

Já em caso de eventos extremos de precipitação, podem ocorrer diversos deslizamentos planares rasos, tanto induzidos (aqueles que ocorrem em encostas com taludes de corte e aterro) como deslizamentos em encostas naturais, generalizados por toda a área afetada pela chuva.

Os fatores que influenciam para que ocorram os deslizamentos podem ser classificados como agentes predisponentes e agentes efetivos. Os agentes predisponentes estão relacionados à suscetibilidade do terreno, ou seja, suas características naturais como geologia, pedologia, geomorfologia e hidrologia do terreno:

- » Geologia: características das rochas, como elas têm sido alteradas ao longo do tempo (intemperismo), suas estruturas de fraturas e falhas e até mesmo quando há influência de tectonismo, ou seja, há terremotos, que alteram a estabilidade do terreno;
- » Pedologia: características dos solos, suas características físicas e químicas, além da composição de minerais;
- » Geomorfologia: características da forma do relevo, sua declividade, altura das encostas e espessura do solo;
- » Hidrologia: características dos canais fluviais e linhas de drenagem, sua densidade, presença ou não de vegetação.



Influência da chuva, sua infiltração ou escoamento superficial e as influências humanas na ocupação do terreno

Além dos agentes predisponentes, os agentes efetivos também são responsáveis pela ocorrência de deslizamentos. Os agentes efetivos são divididos entre preparatórios e imediatos, ou seja, os agentes preparatórios, são aqueles que já estão ocorrendo (nos últimos dias) e os imediatos são aqueles que acontecem no momento que causam os deslizamentos.

Assim, os agentes efetivos dados pela: meteorologia, hidrologia e ações humanas. No caso da meteorologia, o agente preparatório é dado pela precipitação acumulada, já o imediato é a intensidade da precipitação instantânea. Ou seja, quando uma área suscetível, já tem certo volume de precipitação acumulada nos últimos dias e recebe chuva de forte intensidade, neste momento pode acontecer o deslizamento.

Em relação à hidrologia, os agentes preparatórios estão relacionados à infiltração, aos fluxos de água no interior do solo e a redução gradativa da estabilidade do solo, pelo excesso de água em seu interior e o agente imediato é o forte escoamento superficial (no momento de precipitação intensa). Em relação à ação humana, se destacam os agentes preparatórios como o tipo de uso e ocupação de áreas suscetíveis; retirada de vegetação; mudança na forma da encosta, quando se faz corte ou é adicionado aterro no terreno; quando há concentração e um mal direcionamento de águas servidas (esgoto a céu aberto), vazamentos de tubulação e mesmo água da chuva.



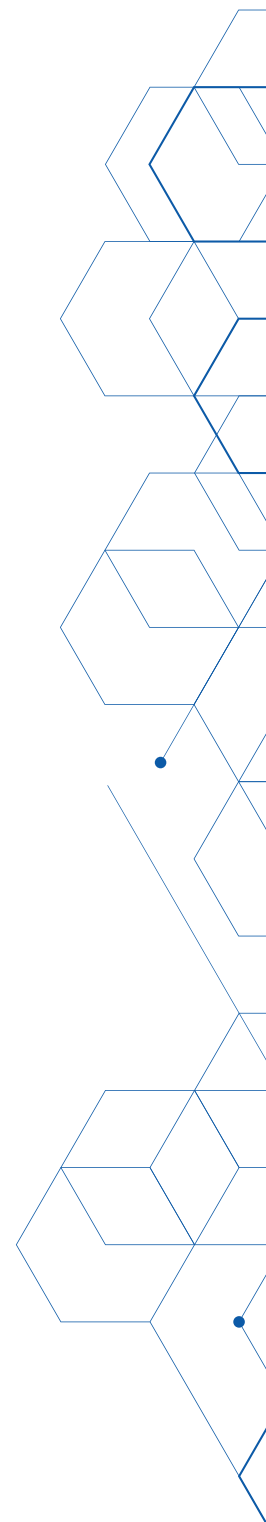
Os movimentos de massa nas cidades

Este subtema tem por objetivo discutir como a urbanização influencia neste processo natural de modificação da paisagem e suas consequências. Descrever as diferenças regionais relacionadas aos movimentos de massa, tanto pela suscetibilidade natural, como pelo padrão de ocupação das encostas.

A urbanização e o risco de movimentos de massa

O processo de urbanização no Brasil, desde a segunda metade do século XX foi bastante intenso, influenciando até mesmo o aumento de registros de desastres (é necessário considerar também que houve mudança nas formas oficiais de registro de desastres ao longo do tempo). Além do aumento absoluto da população brasileira, em 1950, a população urbana representava 36% da população total (18 milhões de habitantes) e em 2010, ultrapassou os 84% da população brasileira, chegando a mais de 160 milhões de pessoas (IBGE, 2011).

Frequentemente ocorrem deslizamentos induzidos que, em geral, estão relacionados à alteração das encostas, por meio de implementação de taludes de corte e de aterro, bem como construções de edificações sem estrutura adequada (CARVALHO; GALVÃO, 2006). As maiores cidades brasileiras estão localizadas na porção leste do país e a região Sudeste é a mais densamente ocupada, conforme pode ser observado nessa imagem de satélite noturna, em que os pontos claros indicam a presença de iluminação e as concentrações urbanas (Figura 92). A faixa leste das Regiões Sudeste e Sul



(desde Santa Catarina até o Espírito Santo) é marcada pela presença de Serras. Ou seja, há cidades densamente ocupadas em áreas naturalmente suscetíveis a deslizamentos. Com isso, no próximo item, serão abordadas as diferenças nos processos de movimentos de massa, em especial os deslizamentos de encostas, nas diferentes regiões do país.



Figura 92: Imagem de satélite, sensor OLS da América do Sul, com divisão dos estados brasileiros. Fonte: Adaptado de NASA-NOAA.

Os riscos do corte e aterro sem contenção das encostas

Conforme já foi abordado, os movimentos de massa ocorrem naturalmente no ambiente, mas a ocupação em áreas suscetíveis tende a intensificar esse processo. Exemplo disso é a implementação de taludes de corte e de aterro sem contenção de encostas sem acompanhamento de equipe de engenharia (Figura 93).

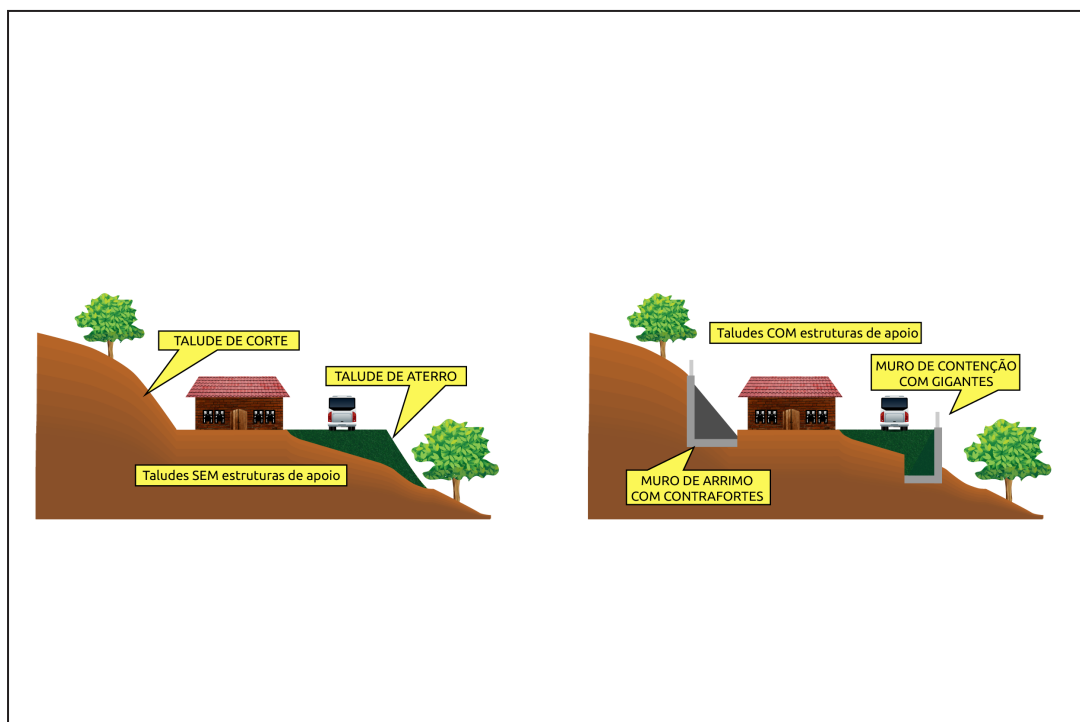


Figura 93: Comparação de encosta com corte e aterro, sem contenção e com contenção. Fonte: UFJF.

Quando se faz um corte na encosta, retirando material, tem-se a vantagem de reduzir o peso, porém, o corte aumenta o ângulo de inclinação da encosta, deixando-a mais instável. Um fator bastante relevante é que os cortes podem alterar significativamente a distribuição de poro-pressão de água ao longo da encosta, ou seja, a água da chuva atinge mais rapidamente camadas de solo menos maduro, do que se não houvesse o corte.

Quando se inicia a precipitação em uma encosta, parte da água escoar superficialmente e outra parte se infiltra no solo. É possível observar a diferença do comportamento da água que infiltra em uma encosta natural com uma onde foi realizado corte, através da modelagem matemática (Figura 94).

Os resultados dessa modelagem representam o que acontece em uma encosta real, uma vez que o modelo foi alimentado com informações dos parâmetros do solo e declividade de uma área de estudo. Nesta imagem os horizontes do solo estão coloridos, conforme indicado na legenda. As setas azuis representam a infiltração da água da chuva no solo. A mancha azul tracejada representa a água que infiltrou nas diferentes camadas do solo.

Na Figura 94A, é possível observar que a água infiltrou de forma gradativa, paralela à superfície. Na Figura 94B, é possível observar que a água chegou a horizontes mais profundos, porque penetrou o solo pelas áreas de corte. Assim a água atingiu camadas de solo menos maduro, menos coeso, ou seja, mais instáveis.

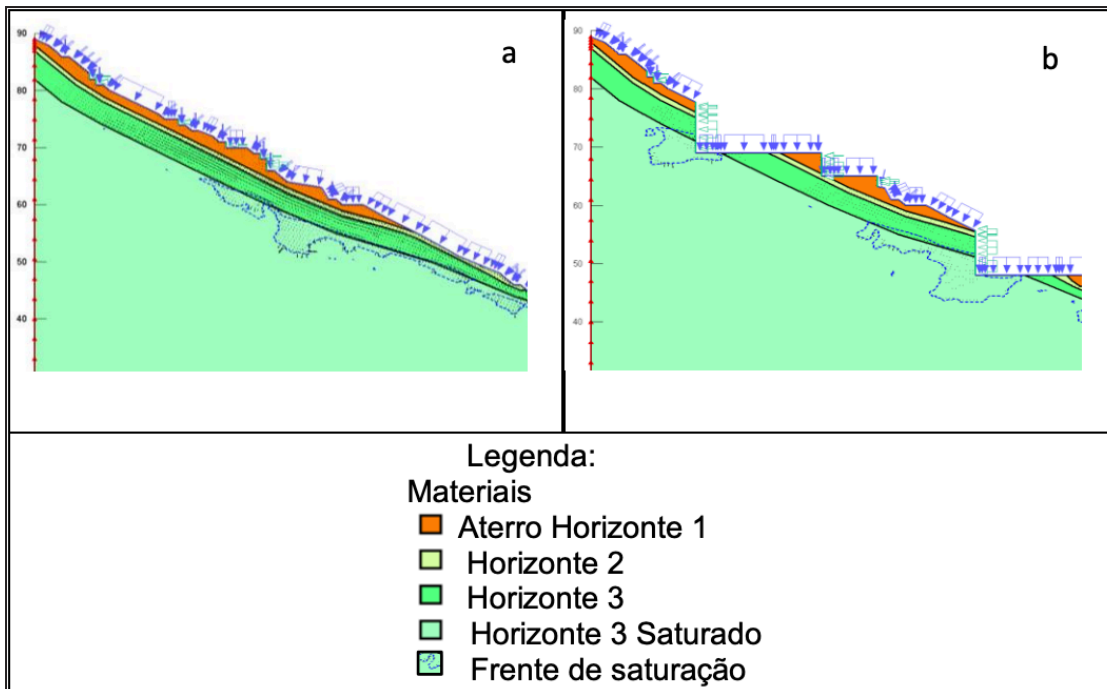


Figura 94: Comparação do comportamento da precipitação em encosta natural e encosta com talude de corte através do módulo SEEP/W, modelo GEOSLOPE. Fonte: Inpe.

No Brasil, é facilmente observada a relação entre a valorização imobiliária das áreas mais estáveis, o que é determinante para a ocupação das áreas suscetíveis por parte da população de menor renda em aglomerados subnormais.

Quando há ocupação das encostas suscetíveis à deslizamentos por população de melhor renda, no geral, são elaboradas obras de contenção e são realizadas obras com acompanhamento de equipe de engenharia, minimizando os fatores que levariam ao risco.

Assim, entende-se que as formas de modificação das encostas são diferentes de acordo com o padrão construtivo e a renda nas diferentes áreas suscetíveis em uma cidade. Quando há ocupação em áreas suscetíveis a deslizamentos, toda a população está exposta ao risco, porém tem um aumento

da vulnerabilidade de umas pessoas em relação a outras. Isso acontece tanto devido ao padrão construtivo das moradias, como pelos caminhos e rotas de fuga que as pessoas têm para sair de suas residências em caso de necessidade de evacuação da área.

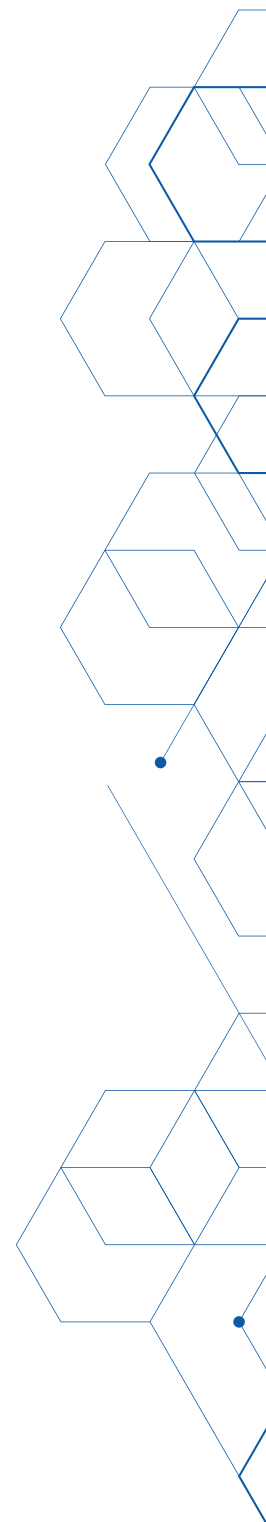
Mapeamento de risco

O Brasil apresenta uma Geodiversidade distinta, ou seja, há uma grande variedade de elementos e processos relacionados à natureza geológica e os solos formados a partir de suas rochas, ou mesmo aqueles transportados para um novo local, tanto naturalmente como por ação humana. Como consequência, possibilita a ocorrência de muitos processos geológicos e hidrológicos, limitando a ocupação territorial, afinal há lugares com declividades muito acentuadas, que impossibilitam a ocupação das áreas.

O risco a perda de vida e os danos causados devido aos processos geológicos, como os movimentos de massa, apresentam locais específicos de ocorrência, com pesquisas, podem ser identificados, avaliados e gerenciados.

Neste contexto, a União, os Estados e os Municípios vêm atuando de forma sistemática a minimizar os possíveis danos causados por tais processos. Entre essas medidas podemos destacar a elaboração das cartas geotécnicas que visam dar subsídios às ações de mitigação, planejamento e prevenção.

No entanto, tais produtos apresentam alguns critérios e elementos para a sua concepção e, principalmente, são limitados pela sua escala de aplicação, visto que, dependendo da escala, elementos que podem levar a uma situação de risco podem não ser identificados. Sobreira e Souza (2012) apresentam uma síntese das diferentes cartas, suas respectivas escalas de mapeamento, processos passíveis de identificação e a aplicação dessas (Quadro 5).



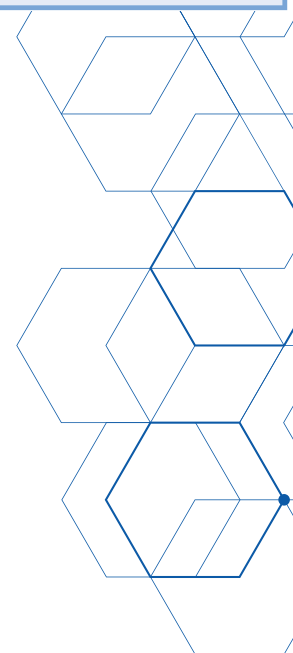
Produtos	Escala de Mapeamento	Processos geodinâmicos passível de identificação	Possíveis aplicações
<i>Carta de Suscetibilidade</i>	<i>1:25.000 ou maiores</i>	Movimentos gravitacionais de massa, inundações/enchentes, corridas, erosões, assoreamento, processos costeiros, sismos induzidos.	Apontam áreas adequadas e com restrições à ocupação, podem subsidiar, por exemplo, planos diretores, zoneamentos ambientais, gestão de bacias hidrográficas, entre outros. Apresentam-se como orientativo.
<i>Carta de aptidão à Urbanização</i>	<i>1:10.000, 1:5.000 ou maiores</i>	Movimentos gravitacionais de massa translacionais, inundações/enchentes/alagamentos, corridas, erosões lineares de grande porte (ravinas), assoreamento, subsidências e colapsos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiros.	Podem embasar instrumentos como lei de uso e ocupação do solo ou planos diretores, suporte aos projetos de urbanização e consolidação urbana dos municípios.
<i>Carta de Riscos Geológicos</i>	<i>1:2.000 ou maiores</i>	Movimentos gravitacionais de massa translacionais, rotacionais, em cunha, inundações/enchentes/alagamentos, corridas de lama e detritos, rastejos, erosões lineares (sulcos, ravinas e voçorocas), solapamentos de margem, assoreamento, subsidências e colapsos, expansão de terrenos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiros	Visam a mitigação e erradicação da situações de risco em curto prazo, associadas a soluções de engenharia, intervenções estruturais ou não estruturais subsidiando instrumentos de planejamento e gestão de risco

Quadro 5: níveis de cartas geotécnicas: escalas, processos e possíveis aplicações. Fonte: Adaptado e modificado de Sobreira; Souza (2012).

Para um melhor entendimento, a suscetibilidade ou a Carta de Suscetibilidade (Figura 96) visa indicar a potencialidade de ocorrência de processos naturais em uma dada localidade.

Estas não são elaboradas em escala de detalhes, porém tem a função de identificar qual o grau de suscetibilidade a processos de movimentos de massa (objeto tema desta aula) e outros processos, para toda a área estudada, como todo o território de um município, por exemplo. Com este material em mãos, o poder público local pode identificar quais são possíveis áreas de expansão urbana, aquelas que são adequadas à ocupação, evitando as áreas com restrições, por exemplo.

As Cartas de Aptidão à Urbanização, podem estar em escala um pouco mais detalhada, identificam as áreas em que podem ocorrer os processos de movimentos de massa (entre outros) e podem embasar legislação municipal de uso e ocupação do solo e Planos Diretores.



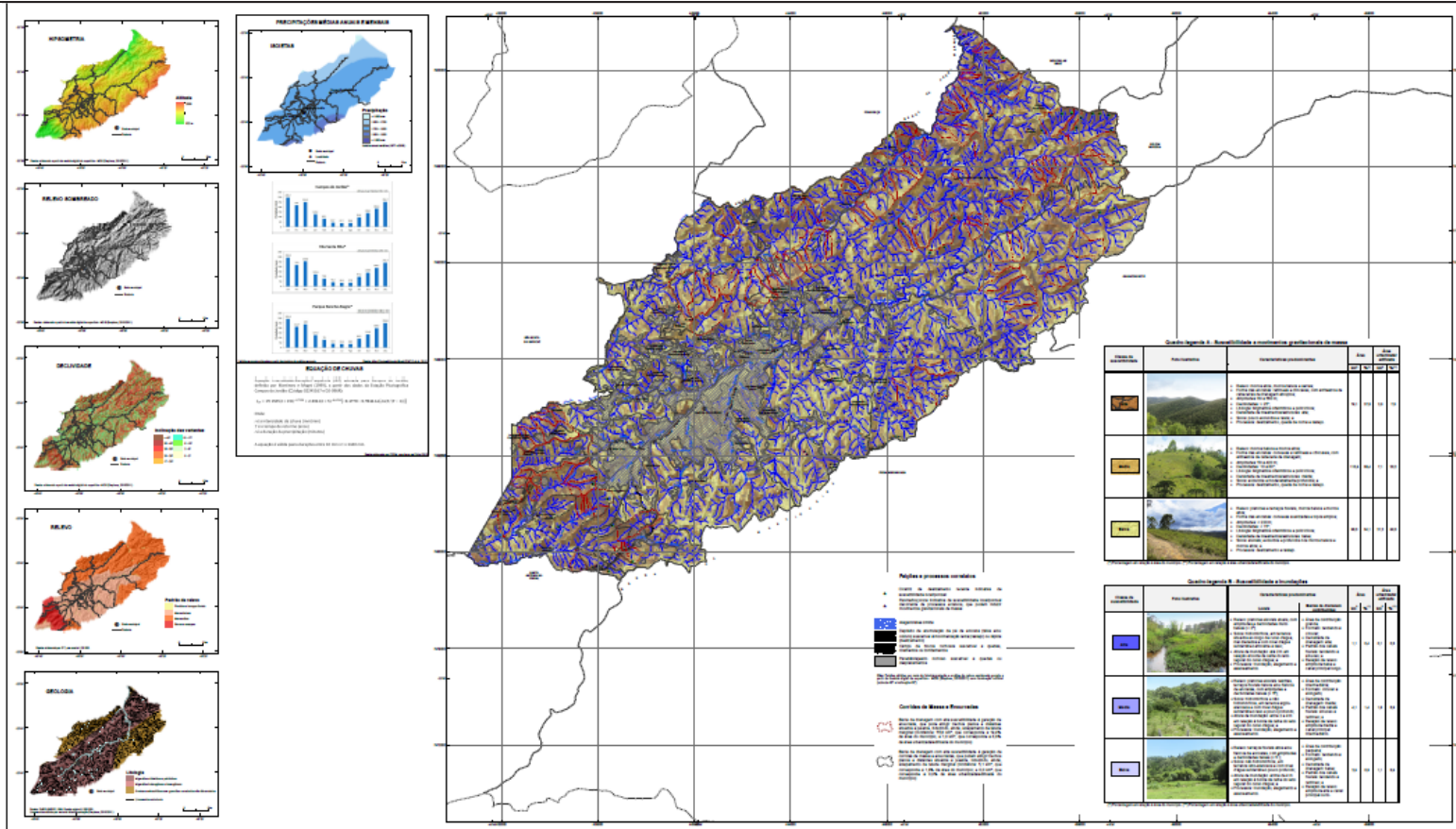


Figura 95: Recorte de uma carta de suscetibilidade para o município de Campos do Jordão (SP). Fonte: CPRM (2014). Para conferir a carta de suscetibilidade clique [aqui](https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/15165) ou acesse: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/15165>.

No que diz respeito ao perigo ou a Carta de Perigo, esta é a representação da condição ou do fenômeno com potencial para causar uma consequência desagradável (BRASIL, 2007; FELL et al., 2008). Nesse mapeamento ou zoneamento são identificados todos os processos que podem afetar uma determinada localidade, assim como, a sua intensidade, sua magnitude, a sua frequência e outras informações que permitam a categorização quanto à severidade dos seus efeitos.

A Carta ou o Mapeamento de Risco indicam áreas passíveis de serem atingidas por fenômenos ou processos naturais e/ou induzidos que causem efeito adverso. A elaboração desse produto leva em consideração a carta ou zoneamento de perigo em associação aos elementos expostos (sociais, estruturais e econômicos), refletindo a probabilidade de perdas, temporal e espacial. Para tanto, as Cartas de Risco Geológico são elaboradas em escala de detalhe, com visita em campo, onde podem ser analisados padrões de

ocupação, amplitude da encosta e outros fatores que auxiliam na descrição e definição nos graus de risco que uma área pode ser mapeada. Com essas informações em mãos, do poder público local pode buscar realizar ações para mitigação do risco e essas informações são também fundamentais para as equipes que realizam monitoramento e envio de alertas.

As informações observadas pelos geólogos e geógrafos em campo, com apoio dos agentes de Defesa Civil, são os olhos dos operadores que realizam o monitoramento, em escritório.

Monitoramento e alerta

Este capítulo tem o objetivo de apresentar as ferramentas necessárias para realizar o monitoramento e envio de alertas de risco de movimentos de massa.

Ferramentas utilizadas para o monitoramento: pluviômetros, radares meteorológicos, satélite meteorológico, modelos de previsão do tempo

Conforme já foi discutido, a chuva é o principal deflagrador de deslizamentos de encostas, em áreas que estão sujeitas a esses processos. Para tanto, são definidos limiares críticos de chuva, como será abordado no Módulo 7.

Havendo limiares ou valores de referência, o método mais difundido para o monitoramento desses eventos é a análise meteorológica. Esta pode ser realizada com base em modelos de previsão meteorológica, análise de cartas sinóticas para identificar a possibilidade de ocorrer precipitação com antecipação de horas ou dias, associada à análise dos dados observacionais, ou seja, dados de chuva registrados através de pluviômetros, localizados próximos às áreas de interesse.



Imagens de satélites meteorológicos podem estimar a intensidade da precipitação, uma vez que as nuvens são observadas do espaço, a profundidade e as temperaturas de topo das nuvens podem indicar áreas com incidência de precipitação de forte intensidade.

Os radares meteorológicos, por outro lado, instalados na superfície terrestre, observam as nuvens por baixo e estimam o volume de chuva que pode precipitar em uma região. Ambos os produtos têm a vantagem de apresentar a estimativa de precipitação de forma espacializada e assim é possível observar a trajetória de um evento de precipitação de forte intensidade, por exemplo. Por outro lado, esses dados são estimativas, ou seja, não são dados reais observados, podendo eventualmente superestimar (indicar valores maiores do que observado) ou subestimar (indicar valores menores do que os reais) o volume de precipitação incidente.

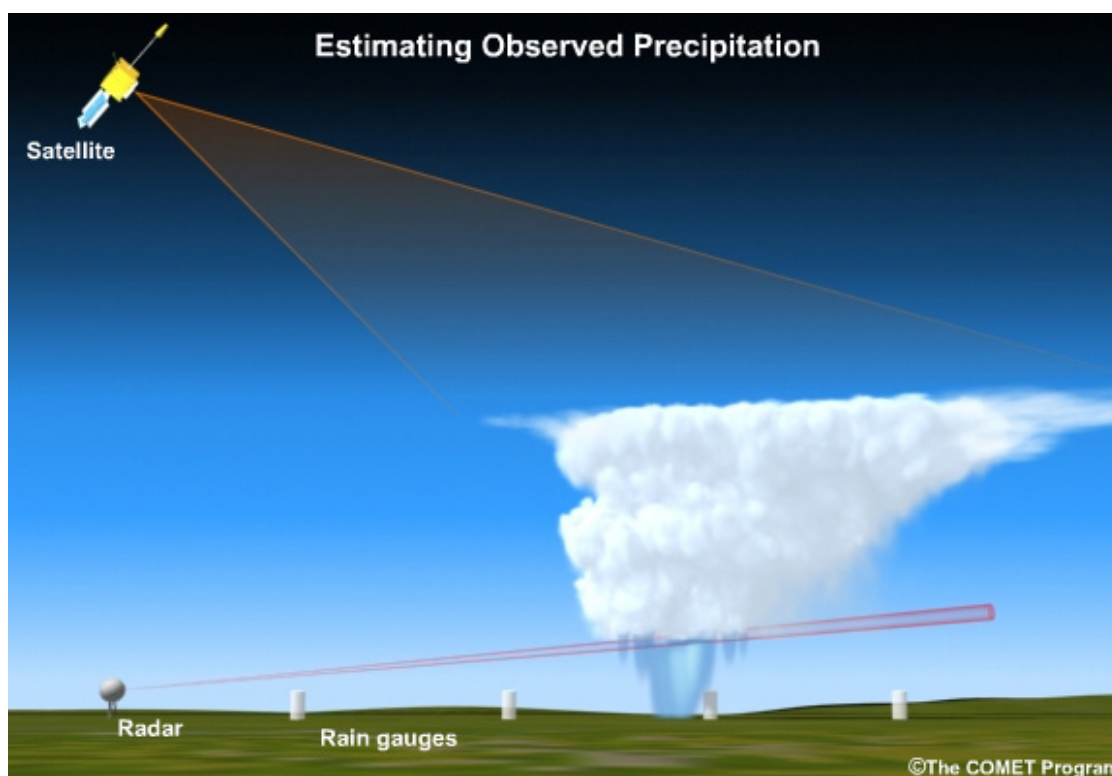


Figura 96: Representação de como cada ferramenta de monitoramento observa a chuva (imagem de satélite, radar meteorológico e pluviômetros. Fonte: The COMET Program.

Os pluviômetros têm a vantagem de apresentar os dados reais de chuva observada no local em que foram instalados. Porém, têm a desvantagem

de apresentar um dado pontual, caso chova a poucos quilômetros de onde o equipamento está instalado, sem chover sobre o equipamento, não haverá registro desta precipitação. Assim, associar os dados das diferentes ferramentas de monitoramento é fundamental para que o monitoramento seja realizado. A Figura 79 representa como cada um destes equipamentos registra os dados de precipitação, estimada ou observada.

Algumas regiões, têm um período mais crítico para a ocorrência de movimentos de massa. Em geral, o período em que se tem a maior concentração de chuvas, aumentando a ação dos agentes efetivos preparatórios, conforme abordado na aula sobre Influência da chuva, sua infiltração ou escoamento superficial e as influências humanas na ocupação do terreno.

A Região Sudeste, em especial a faixa leste dessa região e o leste da Bahia, tem como período crítico entre os meses de novembro a março. Já a faixa leste do Nordeste tende a ter maiores acumulados de chuva entre abril e julho, por exemplo. Outras regiões do país têm diferentes períodos críticos. Nesses períodos críticos, o monitoramento e toda a estrutura para comunicações de alertas e avisos precisa estar de prontidão, para que a comunicação aconteça da forma mais rápida possível. Claro, podem ocorrer eventos pontuais fora desse período, o que não exclui a necessidade de monitoramento ao longo do ano.

Plataformas de monitoramento e plataforma de envio de alertas

Analisar dados de diferentes fontes ao longo do monitoramento é mais viável, quando se utiliza uma plataforma que concentre todos esses dados ou ao menos, grande parte deles. Assim, é possível observar tanto os dados espacializados como os dados pontuais, associar com a localização das áreas de risco e assim tomar a melhor decisão sobre a emissão de um alerta ou fazer um comunicado à população.



Uma plataforma de monitoramento de risco de deslizamentos de encostas precisa ter ao menos os dados pluviométricos, dados de radar meteorológico, localização das áreas de risco, preferencialmente com informações do grau de risco de cada uma das áreas e, se possível, dados de umidade do solo associada a parâmetros de saturação do solo daquele local. Dessa forma, o analista tem a possibilidade de acessar rapidamente cada dado e tomar a sua decisão até o momento do envio de um alerta ou sua mudança de nível, se necessário.

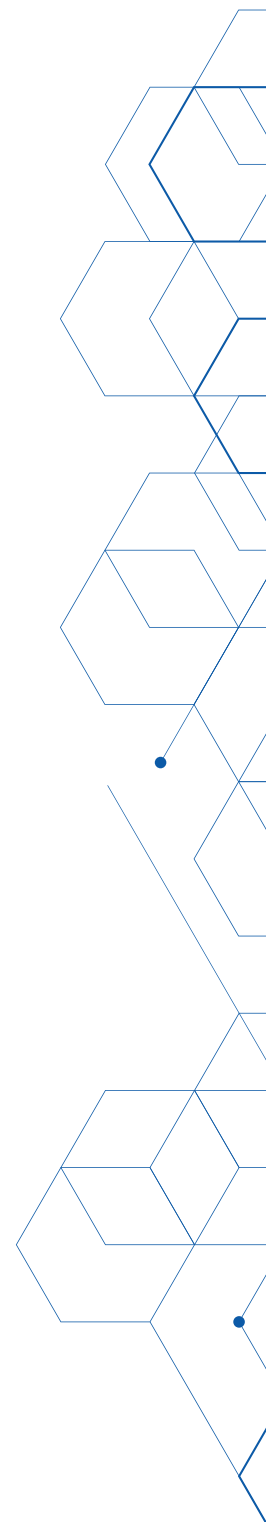
Além de uma plataforma de monitoramento, sugere-se que se tenha uma plataforma ou um sistema de envio de alertas. Caso este sistema possa estar acoplado à plataforma de monitoramento, pode agilizar ainda mais o processo para o envio do alerta. Assim, no momento que o analista tomar sua decisão, espera-se que seja rápido o processo de unir as informações relevantes até o envio do alerta para a população em risco ou para agentes de Defesa Civil.

Uma plataforma de monitoramento acessível e gratuita é o [Mapa Interativo do Cemaden](http://www2.cemaden.gov.br/mapainterativo/) (www2.cemaden.gov.br/mapainterativo/). Há um detalhamento maior sobre as ferramentas disponíveis e como utilizar essa plataforma no Curso III - Sistemas de monitoramento e alerta como suporte à gestão local de riscos e desastres, módulo 2.

Formulários de ocorrência

É imprescindível que, no caso de ocorrer um evento de movimento de massa, seja feito o cadastro dessa ocorrência. Estas informações devem ser repassadas a todos os envolvidos no sistema de monitoramento, nas diferentes esferas (municipal, estadual e federal).

As principais informações a serem coletadas são: **Data/Hora; Local; Tipo de movimento de massa**. Podendo ser complementadas com detalhes da



magnitude do processo, croqui e fotografias de campo, além de informações referentes à população afetada. Assim, o sistema de monitoramento pode ser aprimorado para eventos futuros, após a realização de uma retroanálise do alerta.

O Cemaden disponibiliza o [Formulário de Ocorrências](http://www2.cemaden.gov.br/ocorrencias/index.php) (www2.cemaden.gov.br/ocorrencias/index.php) que pode ser preenchido com informações de ocorrências de deslizamentos (movimentos de massa em geral) e processo hidrológicos (inundação, enxurrada e alagamento).

Previsão de risco geológico

A previsão meteorológica indica quanto de chuva pode ocorrer em um dado local e qual sua intensidade. Mas apenas essa informação não indica se a chuva causará um evento de movimento de massa. É necessário cruzar esta informação com as informações de suscetibilidade e risco que uma região pode ter.

Assim são definidos os limiares críticos de chuva (módulo 7 deste curso). E quando a previsão meteorológica indica que podem ser atingidos os limiares críticos para um local, essa informação resulta na previsão de risco geológico. O Cemaden disponibiliza diariamente sua Previsão de Risco através do link (<https://www.gov.br/mcti/pt-br/rede-mcti/cemaden/conteudo/riscos-geo-hidrologicos>) acessível a toda população interessada.

Análise do cenário de risco para o envio de alertas

O cenário de risco não é estático. Ele tem características que mudam mais lentamente, como a ocupação das encostas, por exemplo, mas ele é composto também por fatores dinâmicos, como a incidência de precipitação. Sobre as suas características, o mapeamento de risco é uma etapa fundamental para indicar qual tipo de processo, ou seja, qual tipo de movimento de massa aquela



região é suscetível. Tipos diferentes de movimentos de massa podem ter limiares diferentes de precipitação para serem desencadeados. Há processos de movimentos de massa que não são desencadeados apenas pela ação da chuva, como deslocamentos rochosos, por exemplo.

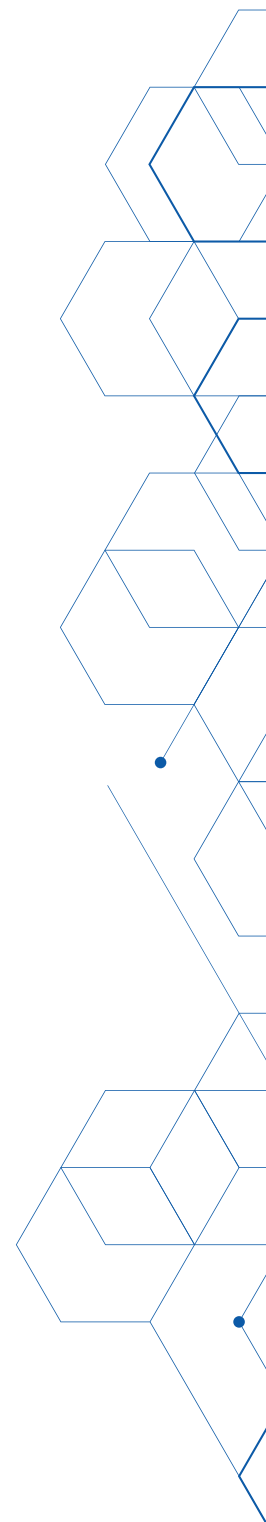
O mapeamento indica ainda, se há população exposta ao risco, diferenciando o mapa de risco de um mapa de suscetibilidade, afinal a suscetibilidade ao processo de movimentos de massa tem relação com as condições do terreno, como geologia (rocha que deu origem ao solo, estruturas de falha e fratura), geomorfologia (forma do relevo, com encostas côncavas e convexas, altura da encosta), pedologia (composição do solo, seu local de origem e seus parâmetros físico-químicos) e declividade.

Em síntese, o cenário de risco pode ser observado no momento do monitoramento, pela análise das características da área de risco, análise das informações meteorológicas, que incluem o acumulado pré-existente, a chuva incidente e a previsão meteorológica. Decidida a necessidade do envio do alerta, é necessário analisar qual o nível de alerta é o mais adequado:

O nível Moderado indica que pode ocorrer evento com alta frequência de ocorrência e baixo potencial de destruição, geralmente com fatalidades da ordem de unidades de vítimas, quando ocorrem. Os processos relacionados a este nível de alerta são:

- » Queda de blocos de rocha;
- » Deslizamentos pontuais e induzidos em taludes de corte e aterro de risco alto e muito alto.

O nível Alto de um alerta indica que pode ocorrer evento com média frequência de ocorrência e alto potencial relativo de destruição, resultando geralmente em dezenas de vítimas. Os processos que podem ocorrer:



- » **Processos diversos envolvendo corpos rochosos (queda de blocos, deslocamentos, etc.);**
- » **Número significativos de deslizamentos em talude de corte e aterro e deslizamentos esparsos em encostas naturais de risco baixo à muito alto.**

Já o alerta de nível Muito Alto é emitido com menor frequência, porém eventos que o motivam tem potencial relativo de destruição muito alto, causando geralmente, dezenas de vítimas. Os processos que podem ocorrer quando este nível de alerta é acionado:

- » Fluxo de detritos/corrida de massa (em municípios com topografia característica);
- » Rolamento e queda de blocos;
- » Deslizamentos generalizados com risco muito alto de vítimas fatais (centenas) e danos.

Após a tomada de decisão pelo envio do alerta, este deve ser encaminhado às pessoas responsáveis, seja o agente da Defesa Civil, o ponto focal que mora na comunidade alertada ou a população em geral. Quando não há mais risco de ocorrer deslizamento, o alerta pode ser cessado ou encerrado, e a equipe de monitoramento retorna ao estado de observação.

Importância do preenchimento do formulário de ocorrência para a decisão de futuros alertas

Após concluir o ciclo do alerta, indica-se fazer a retroanálise do evento.



Essa análise se dá desde a reflexão sobre os critérios utilizados para a decisão do envio do alerta, na etapa de monitoramento e as variações de nível do alerta, quando for o caso, até o momento em que este é finalizado. As informações de campo sobre as ocorrências são extremamente relevantes, para indicar se houve evento de movimento de massa e quando houve (qual o horário do evento), para realizar a correlação do volume de precipitação que causou o evento; qual o local do evento, se foi em área de risco mapeada ou não; qual processo (que tipo movimento de massa) ocorreu; o volume de material mobilizado; e se há pessoas afetadas. Essas informações sistematizadas, tendem a melhorar o sistema de tomada de decisão, aprimorando alertas futuros para este local.

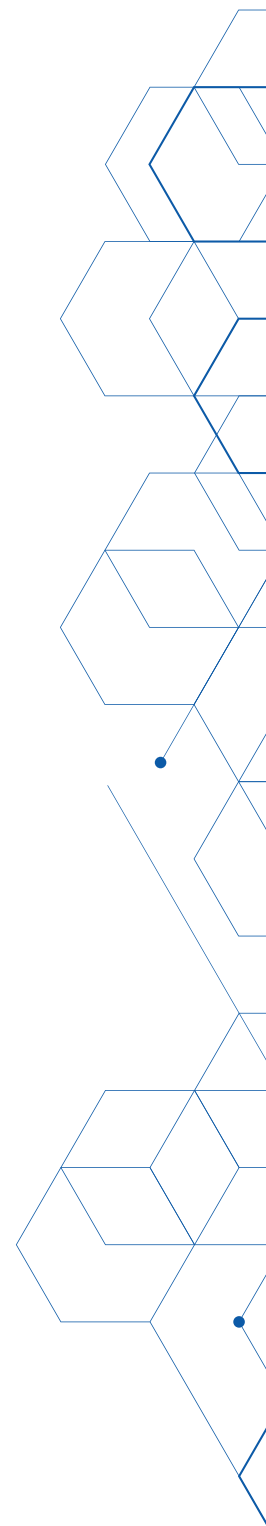
Projeto GIDES – eixo Monitoramento e Alerta: aprendizados

Objetivo:

Apresentar os resultados do eixo de Monitoramento e Alerta desenvolvido pelo Projeto GIDES (Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Riscos em Desastres Naturais).

Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Riscos em Desastres Naturais – GIDES teve como objetivo contribuir com a gestão de risco no Brasil, buscando reduzir os riscos de desastres decorrentes dos deslizamentos de encostas, por meio de suporte técnico para formulação de políticas públicas.

Ao Cemaden (MCTI) coube, de forma geral, desenvolver métodos para o cálculo de limiares, elaboração e transmissão dos alertas e de forma conjunta ao CENAD e as Defesas Civas estaduais e municipais, melhorar os sistemas informatizados de monitoramento, previsão, alerta e alarme e os resultados dessa etapa da pesquisa foram publicados no Manual Técnico para



Elaboração, Transmissão e Uso de Alertas de Risco de Movimento de Massa. Este manual apresenta a metodologia japonesa (Método Compartilhado), adaptada à realidade brasileira, de monitoramento e emissão de alertas de risco de deslizamentos.

O Método Compartilhado é uma proposta de evolução no monitoramento, em relação ao uso de limiares estáticos de chuva. Este método utiliza linhas de referência, que são estabelecidas por meio de dois índices de chuva efetiva que estimam o volume de água no solo e no subsolo, através de cálculos simples.

As meias-vidas utilizadas são de 1,5 horas (que corresponde ao volume armazenado no primeiro tanque do Modelo Tanque e representa as características do solo superficial) e de 72 horas (que corresponde ao volume armazenado no segundo e terceiro tanques do Modelo Tanque e representa as características do subsolo).

A meia-vida traduz as características de infiltração, de escoamento e de armazenamento de água no solo, de modo que se poderia pensar em estabelecê-las por região ao invés de área de risco por área de risco. Em relação à meia vida de 1,5 horas não se espera muita diferença de uma região para outra, porém, em relação à meia vida de 72 horas, pode ser necessário um estudo mais amplo, avaliando-se a variabilidade regional das características do meio físico e a distribuição das chuvas, obtendo-se a meia-vida por tentativa e erro, por meio de retroanálise das séries de chuvas com e sem evento (CEMADEN, 2018).

A correlação entre o índice de chuva efetiva de longo prazo e o índice de chuva de curto prazo, é apresentada no gráfico por uma curva dinâmica, chamada de curva cobra. A curva cobra indica a probabilidade de ocorrer eventos de deslizamentos quando ultrapassa as linhas de apoio: LC (linha crítica), LPMA (linha de probabilidade muito alta), LPA (linha de probabilidade alta) e LPM (linha de probabilidade moderada).



Desse modo, esse gráfico também apresenta em qual momento é possível que aconteçam eventos de grande magnitude (curva cobra adentrando a zona insegura, simbolizada pelo conjunto de 'x' em vermelho) daqueles de menor magnitude (curva cobra ainda na zona segura, simbolizada pelo conjunto de "x" em azul).

A Figura 97 apresenta o gráfico com a distribuição da série de chuvas sem eventos e a distribuição da série de chuvas com eventos, dividida pela LC e abaixo dela estão as linhas de apoio correspondentes à probabilidade de ocorrência de evento que se intensifica ao se aproximar da LC. A chuva atual é representada pelos pontos pretos e sua trajetória ao longo do gráfico é dada pela curva cobra.

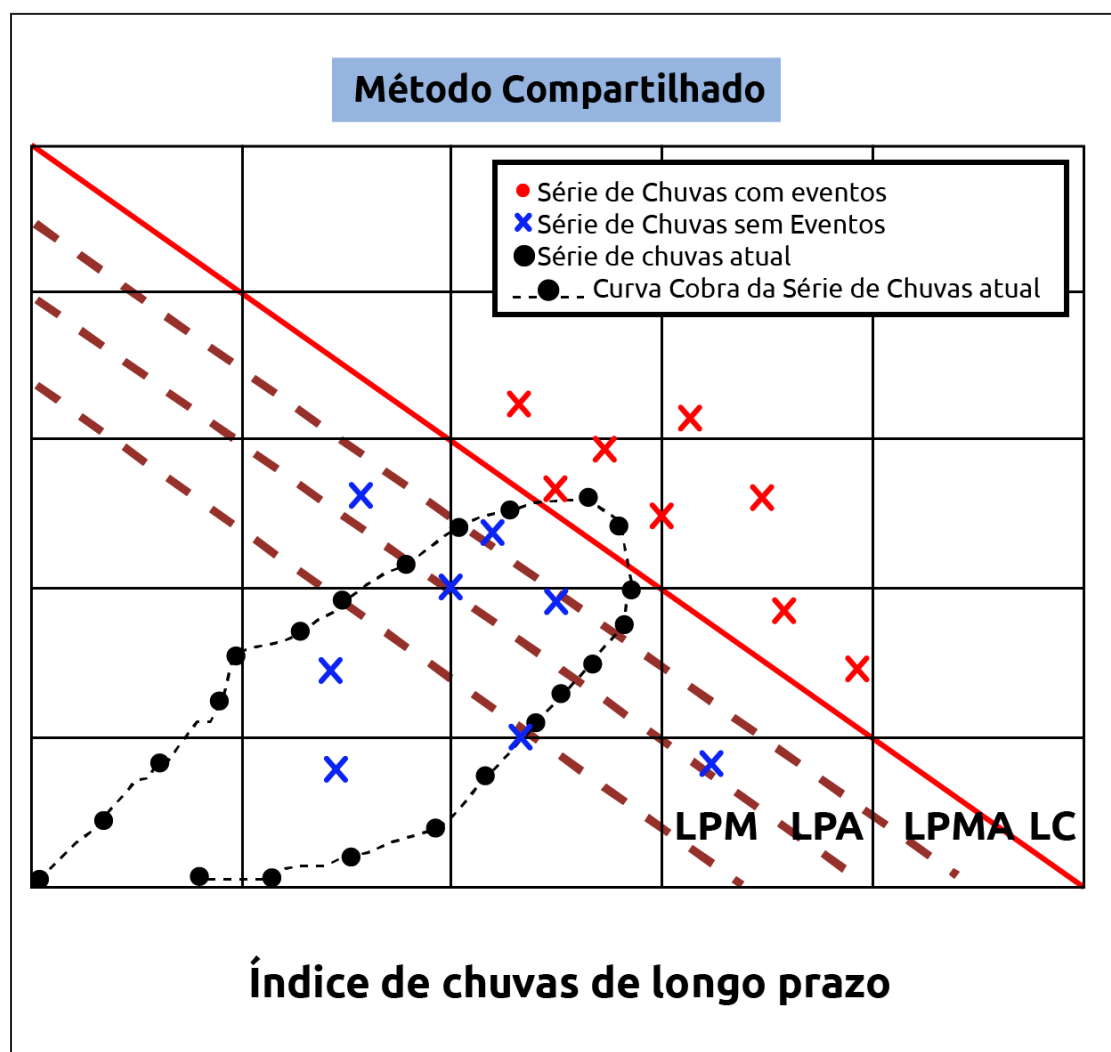


Figura 97: Gráfico com a distribuição da série de chuvas com e sem eventos. Fonte: Kumamoto, 2015.

Ressalta-se, que a definição das linhas, bem como os limiares empregados foram discutidos e validados juntos as Defesas Cívicas Estaduais e Municipais participantes do projeto. Da mesma forma, as ações coordenadas por cada órgão dentro do sistema, ao longo do projeto foram discutidos (em Reuniões Técnicas), os nivelamentos dos níveis dos alertas por parte do Cemaden juntamente com os níveis operacionais das Defesas Cívicas, como pode ser observado no quadro 6.

Correlação entre Risco, Linhas de Referência, Alertas, Alarmes e Ações de Prevenção				
Baixa Probabilidades de Eventos		← → Máxima Probabilidade de Eventos		
	LPM	LPA	LPMA	LC ⁽⁴⁾
Baixo (Cessar)	Alerta Moderado	Alerta Alto	Alerta Muito Alto	Alerta Máximo
Normalidade	Observação	Atenção	Alerta	Alerta Máximo
-	-	Alerta de Preparação para Evacuação	Alarme de Evacuação	Alarme de Evacuação Obrigatória

Quadro 6: Correlação entre as linhas de referência do Método Compartilhado/GIDES com o estágio operacional das ações de prevenção (ações de Defesa Civil). Fonte: Cemaden, 2018.

(1): Transmitido pelo Cemaden ou pela DCEs, para as DCMs

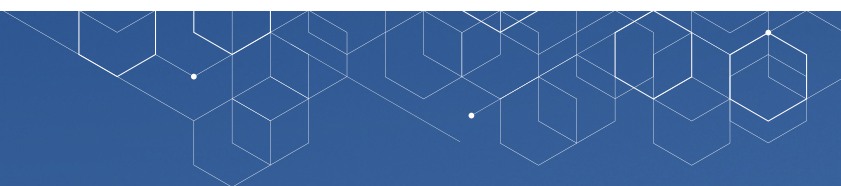
(2): Transmitido pela Defesa Civil Municipal.

(3): Transmitido pela DCM ou pela DCE, conforme acordado entre ambos, para os moradores das áreas em risco.

(4): LPM: Linha de Probabilidade Moderada de Eventos. LPA: Linha de Probabilidade Alta de Eventos. LPMA: Linha de Probabilidade Muito Alta de Eventos. LC: Linha Crítica de Eventos (ou Linha de Probabilidade Máxima de Eventos).

Aspectos técnicos dos extremos geo-hidrológicos no país e as diferenças regionais

7



Limiares

Banco de dados de ocorrências

Concepção e construção do banco de dados de ocorrências para registros de eventos geodinâmicos.

Conforme apresentado no módulo 6, a chuva é um dos principais agentes deflagradores dos movimentos de massa. Com isso, um dos métodos de monitoramento (isto é, de prevenção) dos movimentos de massa é a definição de limiares críticos de chuva. Porém, para se construir os limiares para um dado local, é fundamental que se tenha um Banco de Dados (BD) com informações históricas das ocorrências prévias, incluindo o volume de precipitação que causou cada evento, ou mesmo, dados de volume de precipitação que não causaram deslizamentos.

Os bancos de dados são uma coleção de dados relacionados e representam fatos que podem ser registrados (fotografia, uma imagem de satélite, arquivos de jornais, boletins de ocorrências, entre outros), possuindo assim, um significado implícito, embasando as nossas decisões e objetivando conhecermos melhor a realidade que nos cerca (Elmasri; Navathe, 2005; Espíndola et al., 2018), por exemplo, o aprimoramento da gestão de risco de desastres em diferentes escalas (Municipal, Estadual e União).

A realidade aqui tratada corresponde ao conjunto de processos que compõem a temática dos movimentos de massa. Nesse sentido, o banco de dados de movimentos de massa busca compreender não apenas a sua localização e o tipo dos processos, mas também os impactos e os riscos associados a eles (GALLI et al, 2008; HILKER et al., 2009; Van Den Eeckhaut; Hervás,



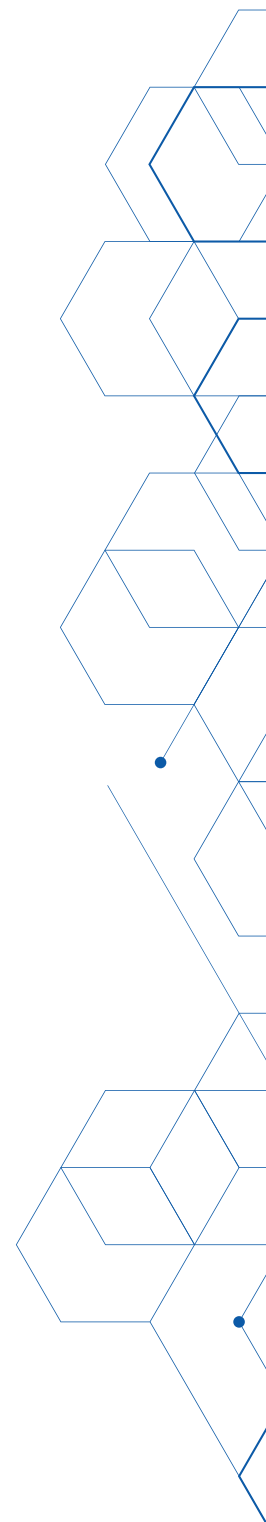
2012; HERVÁS, 2013; KLOSE et al., 2014; DAMM; KLOSE, 2015), contribuindo para uma gestão de risco mais eficaz.


De forma geral, o BD de movimentos de massa pode contemplar as seguintes informações: um código de identificação único para cada processo, a sua localização, a data da ocorrência e a data de registro, o tipo de deslizamento, estado de atividade, o volume, a distância percorrida, a geometria do processo, o uso e cobertura do solo, bem como, o impacto e os danos causados, as condições hidrometeorológicas e o responsável pelo preenchimento da ficha (CRUDEN; VARNES, 1996; CPRM, 2000; FELL et al., 2008; VAN DEN EECKHAUT; HERVÁS, 2012, KIRSCHBAUM et al., 2015; CALVELLO; PECORARO, 2018).

De forma mais simplificada, quando não se tem uma equipe técnica e um banco de dados mais complexo para organizar os dados, informações como data, horário, local, tipo do evento, volume de chuva e fotografia do local são fundamentais para armazenar em um banco de dados de ocorrências.

A escala de análise do BD de movimentos de massa pode variar entre a escala local, no caso, municipal, até a escala federal armazenando todas as informações possíveis sobre os movimentos de massa, utilizando-se de diferentes fontes ou técnicas (relatórios técnicos, boletins de ocorrência, arquivos de jornais, interpretação de imagens, entre outros).

No Brasil, em nível nacional, os BD são amplos englobando os diferentes processos que ocorrem no território. Podemos destacar o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD) da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC), o MovMassa, o primeiro protótipo de BD do Serviço Geológico do Brasil, atualmente, denominado de Sistema de Cadastro de Deslizamento e Inundações (SCDI), que neste momento vem passando por novas atualizações, e o Sistema Integrado de Alertas de Desastres Naturais (SIADEN) do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden) , em que os BD apresentam características inerentes a sua finalidade. Portanto, podendo haver campos incomuns entre eles.





RELATÓRIO DE REGISTRO DE OCORRÊNCIA

Município

Alerta

Evento: Movimentos de Massa

Parte I - ALERTA

Nível: Moderado/Alto/Muito alto Abertura: D/M/Ano Atualização: D/M/Ano Cessar: D/M/Ano	
---	--

Parte II - OCORRÊNCIA(S)

Ocorrência 1

2. Data da ocorrência:	
3. Precisão e Horário da ocorrência ou período:	
4. Qual o tipo de evento do registro:	
4.1. Magnitude do Evento:	Pequeno Porte/Médio Porte/Grande Porte
5. Precisão de localização da ocorrência:	
5.1. Localização da ocorrência no mapa:	
5.2. A ocorrência foi registrada em área de risco mapeada:	

Acumulado de precipitação em

7. Danos Humanos:	
7.1. O município declarou Situação de Emergência (SE) ou Estado de Calamidade Pública (ECP):	
7.2. Descrição de Danos/Prejuízos Sociais, Econômicos ou Ambientais:	
8. Observações:	

Parte III - FONTE DE INFORMAÇÕES

Figura 98: Modelo de Relatório de Registro de Ocorrência da plataforma Siaden. Fonte: Cemaden.

Como devem ser utilizados os bancos de ocorrências

O técnico ou agente de Defesa Civil deve ter em mente que o Banco de Dados, ou seja, a sua construção e a sua constante atualização são de suma importância para um melhor gerenciamento das ações no âmbito dos desastres naturais. Em outras palavras, o BD é uma coletânea de registros sistemáticos de dados sobre perdas e danos deflagrados por eventos naturais, socionatural ou tecnológico e, apresentam-se como valiosos instrumentos na gestão de risco (MUÑOZ et al., 2017).

Os BD permitem ao agente e/ou técnico da Defesa Civil a possibilidade de correlacionar as informações (área da ocorrência dos movimentos de massa, pessoas desabrigadas ou desalojadas, interrupção de vias de circulação, entre outros), contribuindo assim no diagnóstico dos processos que

ocorrem em seus estados e/ou municípios e seus possíveis danos, possibilitando ações futuras orientadas para a mitigação e resposta a um eventual desastre. Como exemplo da utilização das informações contidas no Banco de Dados, a Figura 99 (A) apresenta a distribuição dos eventos hidrológicos e geológico em função da magnitude do processo (PP = pequeno porte, MP = médio porte e GP = grande porte) para os municípios monitorados pelo Cemaden.

No gráfico da Figura 99 (B) observa-se o número de óbitos por processo hidrológico e geológico, em função dos meses ao longo do ano de 2017.

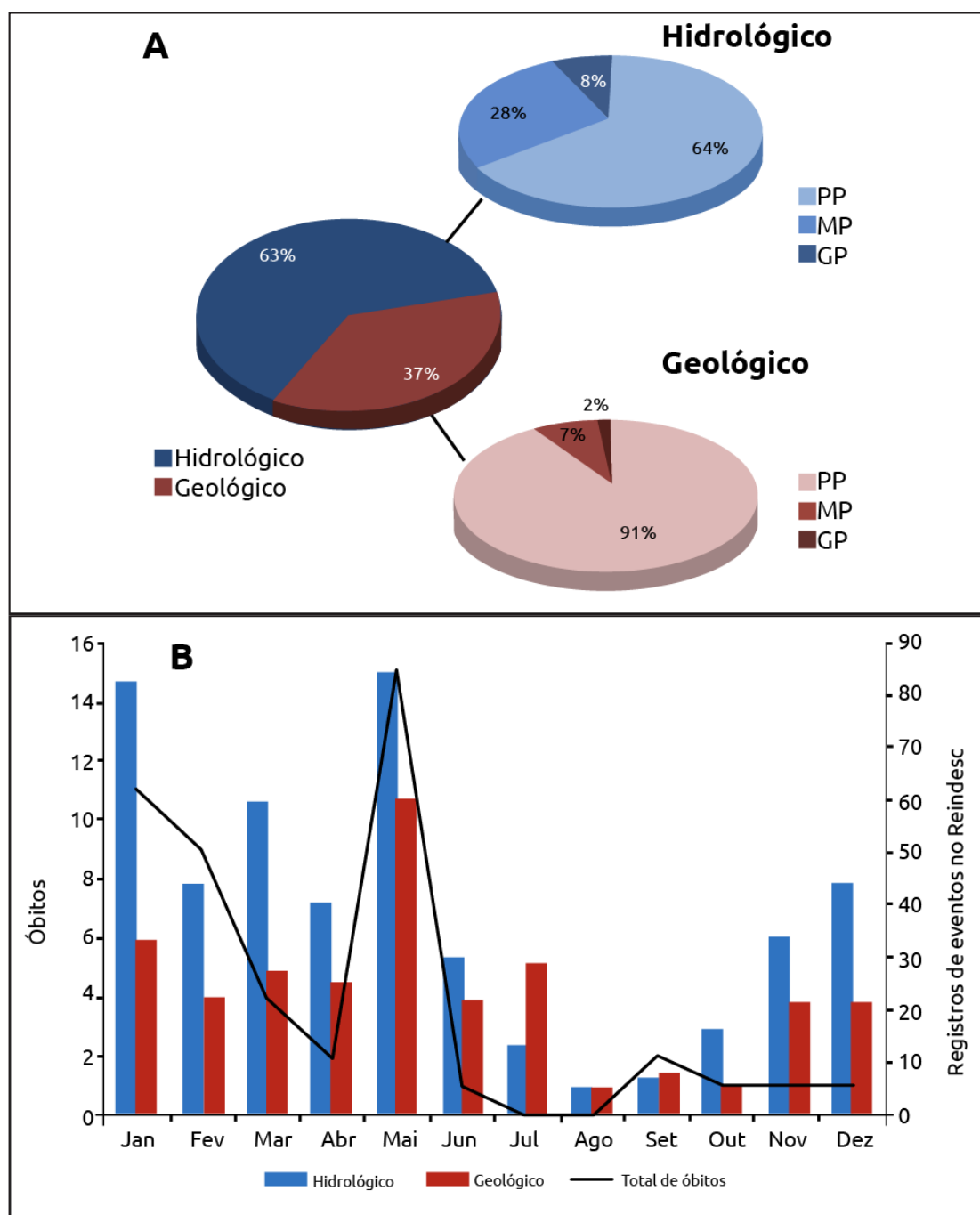


Figura 99: Distribuição dos processos hidrológicos e geológicos em função da magnitude e número de óbitos ao longo de 2017, associados a cada tipo de evento. Fonte: Brasil (2019).

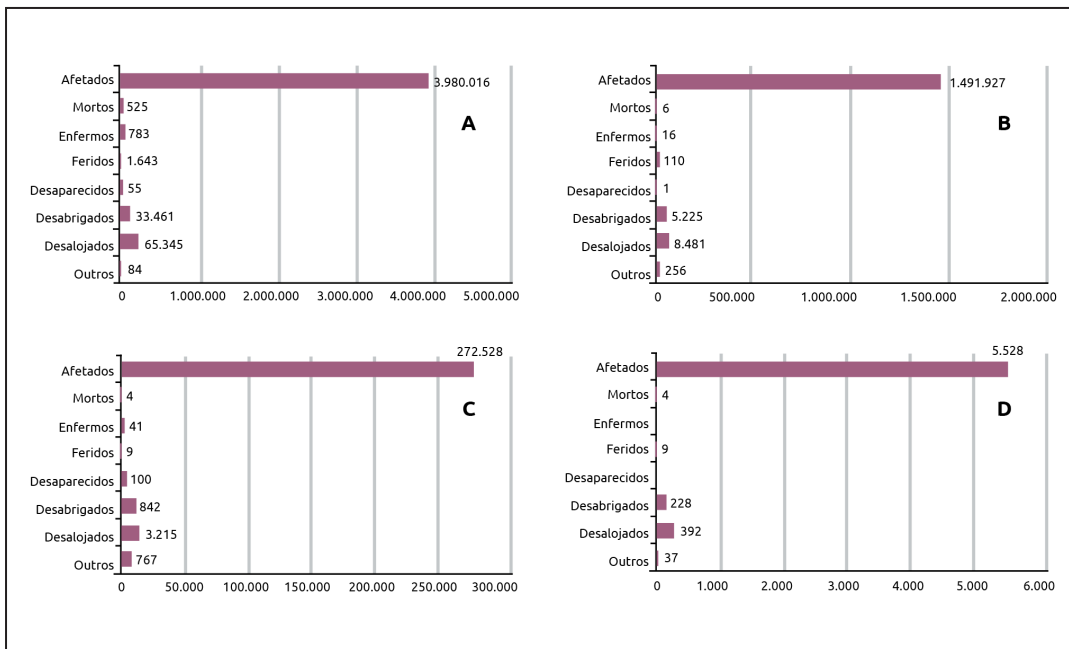


Figura 100: Gráficos dos danos humanos causados pelos movimentos de massa para as Regiões Sudeste (A), Nordeste (B), Sul (C) e Norte (D) para o período de 1991 a 2012. Fonte: Brasil (2013).

Outro exemplo de utilização das informações de um Banco de Dados foi o produto resultante de um levantamento dos desastres naturais ocorridos no Brasil no período entre 1991 e 2012 pelo CEPED - UFSC (BRASIL, 2013). A Figura 100 apresenta os danos humanos causados pelos movimentos de massa para quatro regiões do Brasil: Região Sudeste (A), Região Nordeste (B), Região Sul (C) e Região Norte (D).

Essas informações podem orientar que uma parcela da sociedade reside em ambientes suscetíveis aos processos de movimentos de massa, que tais processos são recorrentes e, além disso, podem indicar novos estudos, por exemplo, a correlação da densidade de movimentos de massa e a vulnerabilidade social de uma determinada população dentro de um determinado município.

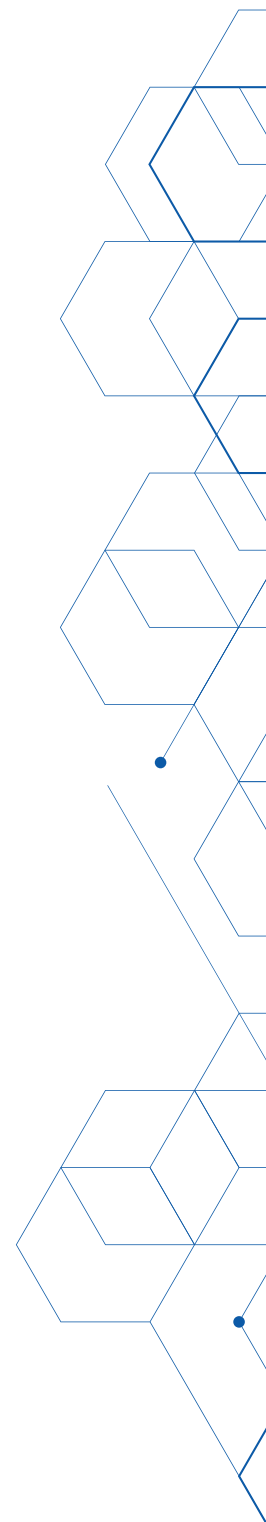
Correlação chuva X deslizamento

Construção, elaboração e proposição de limiares e seus respectivos níveis operacionais

Os limiares podem ser considerados um dos mais importantes parâmetros no âmbito do Sistema de Alerta de Movimentos de Massa, no entanto, por vezes são de difícil obtenção e construção. Entre as dificuldades, podemos destacar o entendimento dos diferentes processos e seus respectivos mecanismos de deflagração, assim como a sua correlação com a chuva. Conseqüentemente, a compreensão dessa relação, chuva – ocorrência, fica ainda mais complexa com a componente antrópica, implicando, assim, na atualização e/ou proposição de novos limiares de forma sistemática. Outro aspecto seria a confiabilidade das informações, seja ela no campo dos dados observados, pluviômetros, por exemplo, seja na obtenção e registros dos eventos, no caso, os deslizamentos, isto é, o material mobilizado, seu raio de alcance entre outros aspectos.

No Brasil, diversos trabalhos a partir da década de 60 foram realizados na tentativa de encontrar as condições (limiares) que levariam a deflagração dos deslizamentos, ou seja, a relação entre a intensidade da precipitação (mm/h) e/ou precipitação diária em função da precipitação acumulada antecedente ao evento (dias, quinzenal e mensal, por exemplo).

Os estudos apresentados por Tatizana et al. (1987a, b) e a resultante denominada de envoltória (Figura 101), assim como, os intervalos de



tempo propostos em suas respectivas pesquisas foram utilizados como base por outros trabalhos em diferentes regiões do Brasil: Coutinho (2002), para o município de Blumenau (SC), Ide (2005), para o município de Campinas (SP), Castro (2006), para o município de Ouro Preto (MG), Bandeira (2010), para a Região Metropolitana de Recife (PE), Parizzi et al. (2010) para o município de Belo Horizonte (MG), Mendes et al. (2015), para o município de São José dos Campos (SP), Ramos Filho (2015), para o município de João Pessoa (PB), Metodiev et al. (2018), para a Baixada Santista e Litoral Norte do estado de São Paulo, entre outros.

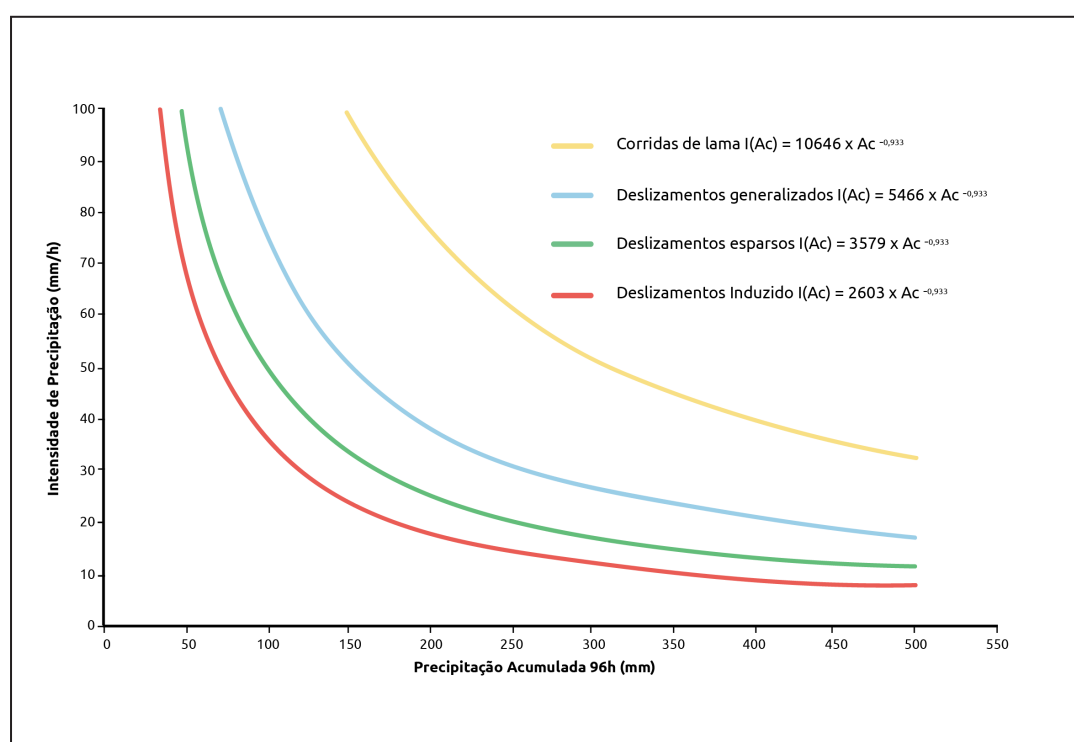


Figura 101: Envoltórias de deslizamentos com base nos resultados de Tatizana et al. (1987a). Elaboração: Enos Sato; Tulus D. Nery.

Para a construção ou proposição de limiares, o técnico ou agente da Defesa Civil pode utilizar o banco de dados de ocorrências, destacando-se as informações de volume de chuva e se ocorreu ou não deslizamento (correlacionando o horário da ocorrência com volume acumulado na estação mais próxima). Assim, pode lançar as informações em uma planilha de cálculo como demonstrado na figura 102 e, a partir da distribuição das informações no gráfico de dispersão, o mesmo irá traçar uma linha separando as chuvas que tiveram ocorrência daquelas sem ocorrência.

Sempre que possível, sugere-se elaborar linhas de referência considerando a realidade do município, visto que, a geologia, geomorfologia, o regime de chuva e a vulnerabilidade da população residente em áreas de risco são distintas de um lugar para o outro, uma alternativa seria dividir o município em 2 ou 3 blocos, quando essa variação das condições físicas são relevantes.

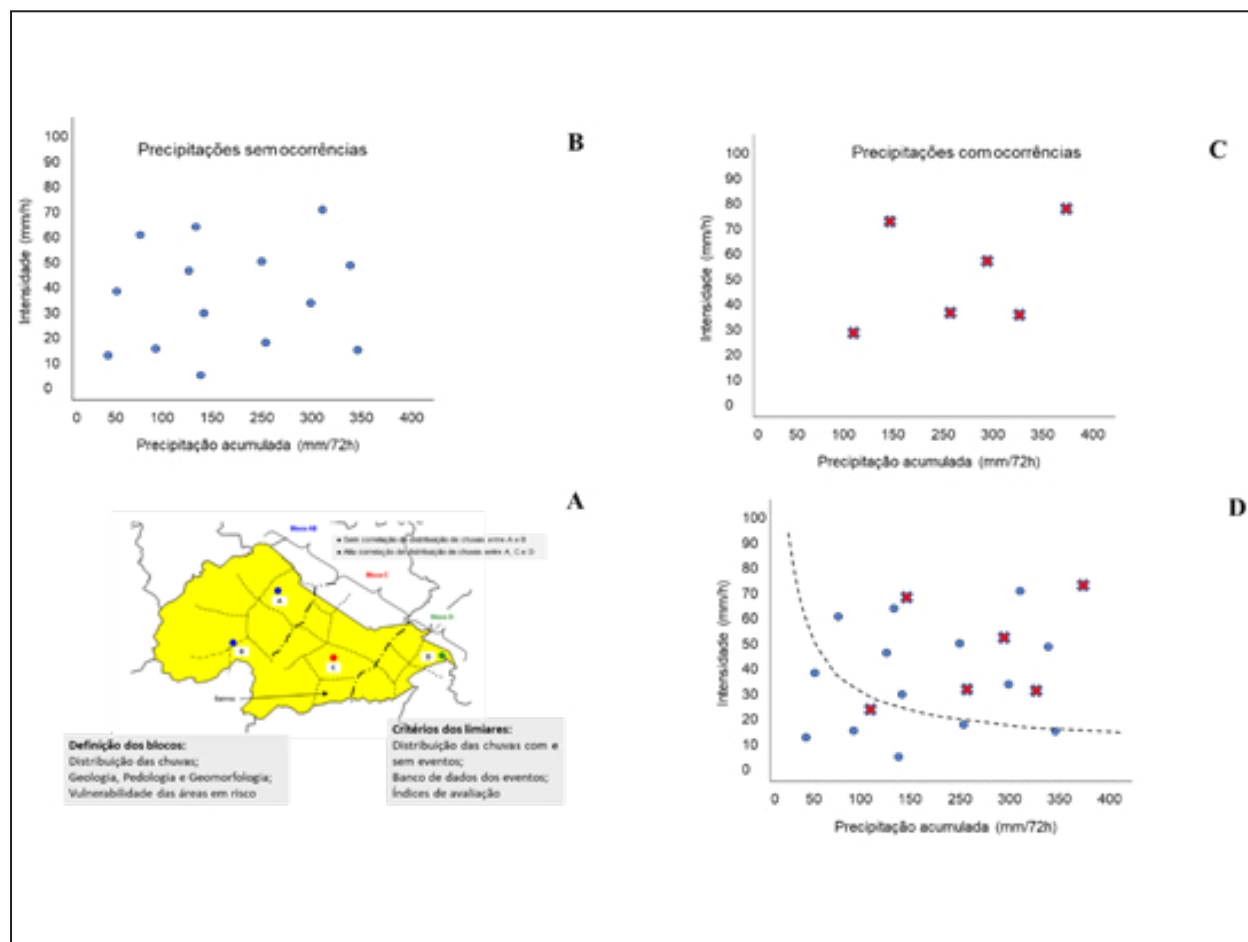


Figura 102: Modelo hipotético de construção e proposição de limiares. Município de Nova Friburgo – RJ (A) utilizado como exemplo para a definição de limiares no âmbito do Projeto Gides; gráfico de dispersão (B) dos valores de chuva que não levaram a ocorrência de movimentos de massa; gráfico de dispersão (C) com valores de chuva que levaram à deflagração dos movimentos de massa; e gráfico de dispersão (D) com a envoltória (linha de referência pontilhada), separando as chuvas com e sem ocorrência de movimentos de massa. Fonte: Cemaden.

A identificação e separação dos processos por faixa ou zona, pode ser um mecanismo de suma importância no planejamento para os órgãos que atuam na gestão de risco, bem como, para os Sistemas de Monitoramento e Alerta (GUIDICINI; IWASA, 1977; TATIZANA et al., 1987b; CALVELLO et al., 2015). No âmbito dos Planos Preventivos, podemos destacar o Plano Preventivo de De-

fesa Civil do estado de São Paulo (quadro 7), o Alerta-Rio para o município do Rio de Janeiro e a DRM-RJ para o estado do Rio de Janeiro, por exemplo (quadros 8,9 e 10).

Nível do Plano	Critério de entrada no nível	Ações a serem executadas pelo município	Ações a serem executadas pelo apoio técnico
Observação	Início da operação do plano.	<ul style="list-style-type: none"> - Conscientização da população das áreas de risco; -Obtenção do dado pluviométrico; -Cálculo do acumulado de chuva; -Recebimento da previsão meteorológica; -Transmissão para o apoio técnico do dado pluviométrico e nível vigente; -Avaliação da necessidade de mudança de nível; 	<ul style="list-style-type: none"> -Manter técnicos em plantão para acompanhamento e análise da situação; -Enviar previsões meteorológicas.
Atenção	Quando o acumulado de chuvas ultrapassar o valor de referência combinado com a previsão meteorológica	<ul style="list-style-type: none"> -Declarar mudança de nível; -Comunicar ao apoio técnico sobre mudança de nível; -Realizar vistorias de campo visando verificar a ocorrência de deslizamentos e feições de instabilização. Devem ser iniciadas pelas áreas de risco; -Obtenção do dado pluviométrico; -Cálculo acumulado de chuvas; -Recebimento da previsão meteorológica; -Transmissão ao apoio técnico do dado pluviométrico e nível vigente; -Avaliação da necessidade de mudança de nível. 	<ul style="list-style-type: none"> -Manter técnicos em plantão para acompanhamento e análise da situação; -Enviar previsões meteorológicas.
Alerta	Quando as vistorias de campo indicarem a existência de feições de Instabilidade ou mesmo deslizamentos pontuais.	<ul style="list-style-type: none"> -Declarar mudança de nível; -Comunicar ao apoio técnico sobre mudança de nível; -Proceder a retirada da população das áreas de risco e demais áreas necessárias; -Obtenção do dado pluviométrico; -Cálculos do acumulado de chuvas; -Recebimento da previsão meteorológica; -Transmissão ao apoio técnico do dado pluviométrico e nível vigente; -Agilizar meios necessários para possível retirada da população das demais áreas de risco; -Avaliação da necessidade de mudança de nível. 	<ul style="list-style-type: none"> -Deslocamento de técnicos para acompanhamento da situação e avaliação da necessidade de medidas complementares; -Evitar previsões meteorológicas.
Alerta Máximo	Quando ocorrem deslizamentos em geral.	<ul style="list-style-type: none"> -Declarar mudança de nível; -Comunicar ao apoio técnico sobre mudança de nível; -Proceder a retirada da população das áreas de risco e demais áreas necessárias; -Obtenção do dado pluviométrico; -Cálculo acumulado de chuvas; -Recebimento das previsões meteorológica; -Transmissão ao apoio técnico do dado pluviométrico e nível vigente; -Avaliação de necessidade de mudança de nível. 	<ul style="list-style-type: none"> -Deslocamento de técnicos para acompanhamento da situação e avaliação da necessidade de medidas complementares; -Evitar previsões meteorológicas.

Quadro 7: Níveis operacionais do PPDC e suas respectivas ações correspondentes. Fonte: Fonte: Macedo et al.

R1 (mm/h)	R2 (mm/24h)	R2 e R3 (mm/24h e mm/96h)	Níveis operacionais	Densidade de deslizamentos	Procedimentos operacionais
25-30	85-140	25-50 e 140-220	Médio	Podem ocorrer de forma pontual	Comunicação aos departamentos municipais
50-80	50-80	50-100 e 220-300	Alto	Podem ocorrer de forma esparsa	Comunicação às secretarias municipais. Boletim de aviso para TV e estações de rádio.

Quadro 8: Limiares e níveis operacionais adotados para o monitoramento no município do Rio de Janeiro. Fonte: Calvello et al. (2015)

Região Serrana	40 mm/h + 100 mm/24h + 115 mm/96h + 270 mm/ 30 dias
Metropolitana (GEORIO)	≥ 40 m m /h ou ≥ 125 m m/24h ou 200 m m /96h + ≥ 40 m m/24h
Norte, Noroeste e Vale do Paraíba	35 mm/4 + 70 mm/24h + 100 mm/96h + 300 mm/30 dias
Costa Verde	35 mm/4 + 75 mm/24h + 115 mm/96h + 270 mm/30 dias

Quadro 9: Índices críticos adotados pela DRM-RJ e GEORIO. Fonte: DRM-RJ (2017)

C1	Associando a acidentes pontuais, geralmente a rupturas de taludes de cortes em trechos afetados por movimentos recentes, quando do registro de chuvas horárias muito intensas, acima de 50 - 55 mm/h, ou chuvas diárias muito significativas, acima de 120 mm/24h, mesmo após uma sucessão de dias secos.
C2	Está relacionado a acidentes nos setores mais críticos do município, geralmente afetando vários taludes de corte ou naturais, em solo e rocha, e linhas de drenagem de 1ª e 3ª ordem, quando do registro de valores de chuvas horárias ou chuvas diárias significativas, associadas a chuvas acumuladas em 4 dias > 115 mm e num mês > 270 mm/mês.
C3	Está relacionado a acidentes adjacentes e de largo alcance, distribuídos por todo o município, geralmente envolvendo a mobilização coletiva das massas deslizadas em taludes de corte e drenagens naturais, encostas naturais (deslizamentos) e canais de drenagem (corridas) deflagrados pela combinação de chuvas horárias muito intensas e chuvas diárias muito significativas, que representem um acréscimo de 50% na combinação dos limiares críticos.

Quadro 10: Cenário de risco a escorregamentos – DRM-RJ. Fonte: DRM-RJ (2017)

Destaca-se também, o trabalho em conjunto que envolveu diferentes órgãos e instituições nos níveis federal, estadual e municipal, correlacionando os níveis de alertas emitidos pelo Cemaden com os Planos de Contingência. Denominado de Projeto Gides, essa ação conjunta envolveu os estados do Rio de Janeiro (municípios de Nova Friburgo e Petrópolis) e Santa Catarina (município de Blumenau) e gerou seis manuais voltados tanto para a mitigação quanto para a resposta. No quadro 11 encontram-se, de forma resumida, as ações para cada nível de alerta emitido pelo Cemaden.

Para informações mais detalhadas, aconselha-se o usuário consultar os manuais técnicos *Elaboração, Transmissão e Uso de Alertas de risco de Movimentos de Massa* (volume 2) e *Planos de Contingência para Desastres de Movimentos de Massa* (volume 3).

Elementos em Análise	Correlação entre Risco, Linhas de Referência, Alertas, Alarmes e Ações de Prevenção				
	Baixa Probabilidades de Eventos ← → Máxima Probabilidade de Eventos				
	LPM	LPA	LPMA	LC ⁽⁴⁾	
Alertas ⁽¹⁾	Baixo (Cessar)	Alerta Moderado	Alerta Alto	Alerta Muito Alto	Alerta Máximo
Estágio Operacional das Ações de Prevenção ⁽²⁾	Normalidade	Observação	Atenção	Alerta	Alerta Máximo
Alarmes ⁽³⁾	-	-	Alerta de Preparação para Evacuação	Alarme de Evacuação	Alarme de Evacuação Obrigatória

Quadro 11: Tipos de alertas e alarmes de movimentos de massa. Fonte: Cemaden.

Nota: (1): Transmitido pelo Cemaden ou pela DCEs, para as DCMs; (2): Transmitido pela Defesa Civil Municipal; (3): Transmitido pela DCM ou pela DCE, conforme acordado entre ambos, para os moradores das áreas em risco; (4): LPM: Linha de Probabilidade Moderada de Eventos. LPA: Linha de Probabilidade Alta de Eventos. LPMA: Linha de Probabilidade Muito Alta de Eventos. LC: Linha Crítica de Eventos (ou Linha de Probabilidade Máxima de Eventos). Fonte: Cemaden.

A stylized map of Portugal is shown in shades of blue and green, with a hexagonal grid overlay. The map is set against a dark blue background. The grid consists of white lines forming a pattern of hexagons, with some lines being slightly thicker than others, creating a sense of depth and structure. The map itself is rendered with a 3D effect, showing the outlines of the regions and a slight shadow beneath it.

**Aspectos técnicos dos extremos geo-hidrológicos
no país e as diferenças regionais**

8

**Diferenças regionais dos
eventos geo-hidrológicos**

Componentes regionais da precipitação

Como já visto no módulo 3, as características da precipitação em termos de intensidade, duração e frequência podem variar de norte a sul do país, e até mesmo em uma mesma região, em função da topografia do terreno, proximidade com o mar, altitude, entre outros.

Para elucidar este fato, as próximas 4 tabelas apresentam a probabilidade de máximos acumulados de precipitação para quatro regiões distintas do país, com base nas Equações de Chuvas Intensas produzidas a partir do histórico de precipitação em cada local. Lembre-se que já abordamos os conceitos de Equações de Chuvas Intensas e talvez uma releitura do módulo 3 possa ajudar no entendimento das tabelas a seguir.

Duração t (minutos)	Período de Retorno								
	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	15,7	20,7	24	25,9	27,2	28,2	31,3	34,4	37,4
20	24,4	32,5	37,8	40,9	43	44,6	49,7	54,7	59,7
30	30	40,3	47,1	50,9	53,6	55,7	62	68,4	74,7
60	39,6	53,7	63	68,3	72	74,8	83,6	92,3	100,9
120	48,4	66	77,6	84,1	88,7	92,2	103,1	113,9	124,6
180	53,1	73,3	85,1	92,2	97,3	101,1	113,1	124,9	136,7
360	60,5	82,1	96,4	104,5	110,1	114,5	127,9	141,2	154,5
720	67,5	91	106,6	115,4	121,5	126,3	140,8	155,3	169,8
1080	71,6	96,1	112,3	121,4	127,8	132,8	147,9	163	178,1
1440	74,5	99,6	116,3	125,6	132,2	137,3	152,9	168,4	183,8

Tabela 1: Valores máximos acumulados de precipitação para a cidade de São Paulo/SP. Fonte: Observatório IAG – E3 – 035R/DAEE. Autor: Martinez e Piteri (2015).

Duração t (minutos)	Período de Retorno								
	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	15,3	20,4	25,3	28,6	31,3	33,6	41,6	51,6	63,9
20	22,1	29,3	36,4	41,2	45,1	48,3	59,9	74,3	92,1
30	26,4	35,1	43,5	49,3	53,9	57,8	71,6	88,8	110,1
60	34,3	45,6	56,5	64,1	70	75,1	93,1	115,4	143
120	42,9	57,1	70,7	80,2	87,7	94	116,5	144,4	179
180	48,5	64,4	79,8	90,5	98,9	106	131,4	163	202
360	58,9	78,3	97,1	110,1	120,4	129	159,9	198,2	245,7
720	71,2	94,5	117,2	132,9	145,3	155,7	193	239,3	296,6
1080	79,3	105,3	130,6	148,1	161,9	173,5	215	266,6	330,5
1440	85,6	113,7	140,9	159,8	174,7	187,2	232,1	287,7	356,6

Tabela 2: Valores máximos acumulados de precipitação para a cidade de Porto Alegre/RS.

Fonte: Denardin & Freitas (1982).

Duração t (minutos)	Período de Retorno								
	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	14,5	17,6	20,4	22,2	23,6	24,7	28,6	33,1	38,3
20	20,8	25,2	29,1	31,7	33,7	35,3	40,9	47,3	54,7
30	25,2	30,5	35,3	38,5	40,9	42,8	49,5	57,3	66,3
60	34,4	41,7	48,2	52,5	55,8	58,5	67,6	78,2	90,5
120	46,4	56,2	65	70,8	75,2	78,8	91,2	105,4	122
180	55	66,7	77,1	84	89,2	93,5	108,2	125,1	144,7
360	73,5	89	103	112,1	119,1	124,8	144,4	167	193,2
720	97,8	118,6	137,2	149,4	158,7	166,3	192,3	222,5	257,3
1080	115,6	140,2	162,1	176,5	187,5	196,5	227,3	262,9	304,1
1440	130,2	157,8	182,5	198,7	211,1	221,2	255,9	296	342,3

Tabela 3: Valores máximos acumulados de precipitação para a cidade de João Pessoa/PB.

Fonte: Denardin & Freitas(1982).

Duração t (minutos)	Período de Retorno								
	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	22,2	24,4	26,1	27,2	28	28,6	30,7	32,9	35,3
20	33,2	36,4	39	40,6	41,8	42,8	45,8	49,1	52,6
30	40,3	44,2	47,3	49,3	50,7	51,9	55,6	59,6	63,9
60	52,9	58	62,2	64,8	66,6	68,1	73	78,3	83,9
120	66	72,3	77,5	80,7	83,1	84,9	91	97,6	104,6
180	73,9	81	86,8	90,4	93	95,1	102	109,3	117,1
360	88,2	96,7	103,6	107,9	111,1	113,6	121,7	130,5	139,8
720	104	114,1	122,3	127,3	131	133,9	143,6	153,9	165
1080	114,3	125,3	134,3	139,8	143,8	147,1	157,7	169	181,1
1440	121,9	133,7	143,3	149,2	153,6	157	168,2	180,4	193,4

Tabela 4: Valores máximos acumulados de precipitação para a cidade de Manaus. Fonte: De-nardin & Freitas (1982).

Vamos imaginar que em função de estudos prévios, decidiu-se enviar alerta moderado quando a precipitação atingir um Período de Retorno de 2 anos para os municípios correspondentes das tabelas acima. As tabelas citadas apresentam os valores acumulados de precipitação (limiar) a serem adotados para tempos que podem variar de 10 minutos até 24 horas (1440 minutos). No caso de alertas hidrológicos para pequenas bacias hidrográficas, podemos igualar o tempo de concentração (TC) da bacia hidrográfica ao tempo de duração da chuva (t). Desta forma, se uma determinada bacia hidrográfica tem um TC= 60 minutos, o alerta, considerando o TR de 2 anos, seria enviado quando o acumulado atingisse 39,6mm em São Paulo; 34,3mm em Porto Alegre; 34,4mm em João Pessoa e 52,9mm em Manaus.

Outra forma interessante para elucidar as diferenças regionais de precipitação com base nas tabelas, pode ser feita avaliando uma precipitação com volume e tempo definido. Se buscarmos nas tabelas um evento de precipitação de 60 milímetros com duração de 1 hora, veremos que para São Paulo o TR

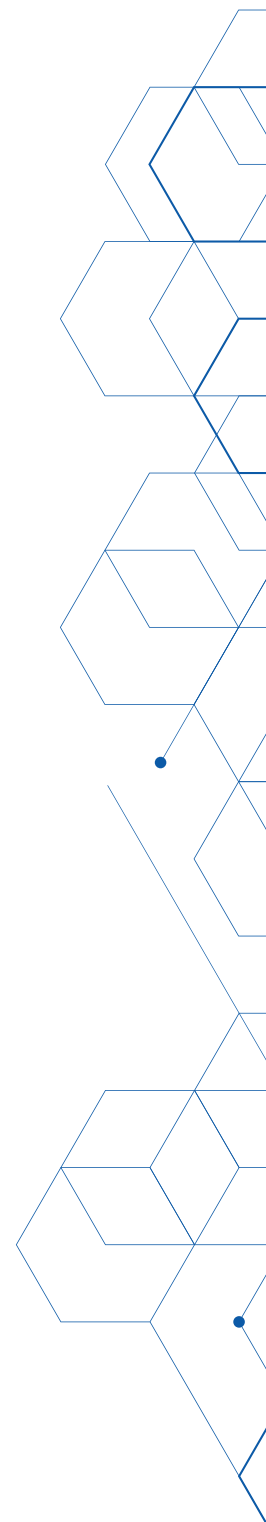
ficaria entre 5 e 10 anos, já em João Pessoa, este evento teria um TR entre 25 e 50 anos, ou seja, este evento é muito mais raro de acontecer em João Pessoa (e por consequência, mais impactante também).

Cenário das inundações e enxurradas e alagamentos no Brasil

Apesar da classificação do COBRADE adotar apenas os conceitos de inundações, enxurradas e alagamentos para definir os processos que causam impactos hidrológicos, as inundações podem ser ainda bruscas ou graduais e as enxurradas também podem variar bastante em termos de duração dos eventos. Não existe um valor exato de tempo para diferenciar uma inundação brusca de uma enxurrada, por exemplo. O fato é que estes conceitos têm objetivos mais qualitativos, no sentido de caracterizar os eventos.

Porém, no planejamento de ações estratégicas de Defesa Civil, ou até mesmo no desenvolvimento de um sistema de alerta para eventos hidrológicos, o tempo de evolução da cheia de um rio tem enorme importância. Como visto anteriormente, as características físicas de uma bacia hidrográfica, ou até mesmo de uma microbacia dentro do bairro de um município, é que define a dinâmica de tempo dos eventos. Neste sentido, um valor que agrega indiretamente estas características é o Tempo de Concentração (TC) da bacia hidrográfica.

No intuito de avaliar as melhores estratégias de abordagem para tratar dos problemas hidrológicos levantados nos 958 municípios monitorados pelo Cemaden (em 2018), a instituição executou um levantamento preliminar, onde os municípios foram classificados de acordo com o TC de suas bacias hidrográficas formadas a montante de cada região de impacto, além de outras variáveis importantes, como a presença de marés, no caso de municípios litorâneos. As classes definidas foram as seguintes:



- » Municípios localizados em divisores de águas;
- » Municípios localizados em regiões litorâneas;
- » Municípios localizados em microbacias;
- » Municípios localizados em pequenas bacias;
- » Municípios localizados em médias bacias;
- » Municípios localizados em grandes bacias.

Salienta-se que, para determinar a classe de um município, considerou-se o problema hidrológico mais recorrente no local, pois é possível um município pertencer a mais de uma classe, como, por exemplo, Manaus – AM que tem como principal problema a cheia gradual do rio Negro, mas também tem problemas com enxurradas em função das chuvas intensas na região. As duas primeiras classes servem para definir os municípios que, tecnicamente, não tem problemas hidrológicos e aqueles onde o efeito das marés oceânicas deve ser levado em conta, respectivamente. As outras classes foram definidas em função do TC de cada bacia. O quadro 1 apresenta a divisão utilizada nas classes.

Municípios	Tempo de Concentração	% de municípios na Classe
Divisores de águas	Não se aplica	1
Litorâneos	Não se aplica	12
Em microbacias	TC < 3 horas	35
Em pequenas bacias	3 horas < TC < 24 horas	30
Em médias bacias	TC > 24 horas	23
Em grandes bacias	TC > 24 horas com caráter sazonal	12

Quadro 12: Levantamento preliminar de suscetibilidade aos eventos hidrológicos dos municípios monitorados pelo Cemaden em 2018. Fonte: Cemaden.

Salienta-se que a diferença entre médias e grandes bacias adotadas neste trabalho, considerou as grandes bacias como sendo aquelas que, além da evolução da cheia ser muito lenta, também tem caráter sazonal, assim, nesta classe ficaram contidos basicamente os municípios Amazônicos. A figura 103 apresenta o número percentual de municípios pertencentes as 4 últimas classes do levantamento.

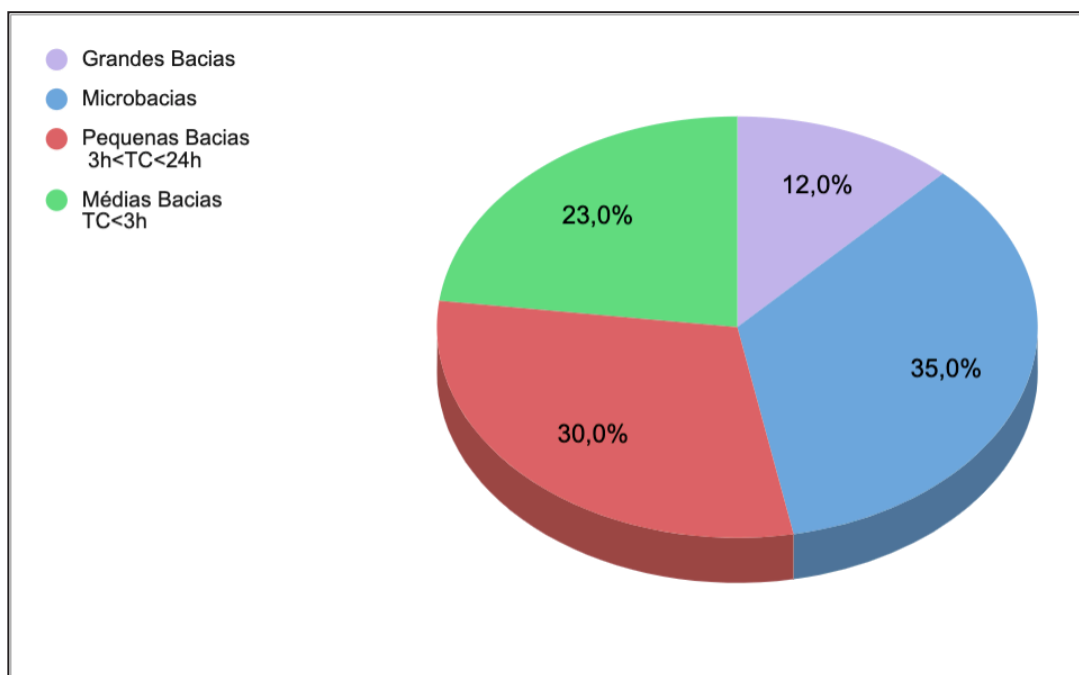


Figura 103: Número percentual de municípios pertencentes as 4 últimas classes do levantamento de suscetibilidade aos eventos hidrológicos dos municípios monitorados pelo Cemaden em 2018. Fonte: Cemaden.

O Brasil é conhecido globalmente pela sua imensidão territorial e por deter rios de grandes dimensões, como o rio Amazonas, rio Paraná, rio São Francisco, entre outros. Mas, se observarmos os dados da figura 103, 65% dos municípios incluídos neste estudo têm problemas com eventos hidrológicos que ocorrem em menos de 1 dia (TC até 24 horas), caracterizados como inundações bruscas, enxurradas e alagamentos.

Cabe salientar que os 958 municípios contidos neste estudo somavam uma população de aproximadamente 95 milhões de habitantes, o que representa 45,7 % da população brasileira (IBGE - 2016). Os municípios estu-

dados contemplam praticamente todas as grandes capitais e regiões metropolitanas do país, desta forma, pode-se considerar que é uma amostragem bastante significativa para inferir conclusões sobre o cenário das inundações, enxurradas e alagamentos no Brasil.

Existem muitos motivos para explicar o avanço da urbanização sobre áreas naturalmente suscetíveis às inundações, e alguns destes motivos merecem ser abordados, pois até mesmo cidades bem planejadas podem ter histórico de inundações, enxurradas e alagamentos e movimentos de massa.

Se considerarmos, primeiramente, cidades antigas e bem planejadas, construídas ao longo de rios e canais, navegáveis ou não, percebe-se que a permanência da população nestes locais está relacionada à baixa recorrência (TR acima de 25 anos) de eventos com grande magnitude. É o caso de Blumenau/ SC e Governador Valadares/ES. Estes municípios têm problemas com inundações e tem Sistemas de Monitoramento e Alertas para a população. Cabe salientar que, para estes casos, um sistema de alerta tem grande efetividade.

Outro motivo recorrente, principalmente, nas últimas duas décadas, está relacionado ao avanço da população sobre áreas impróprias em função da dificuldade de mobilização urbana, ou seja, quando a infraestrutura de transporte não é compatível com a necessidade da população. Nestes casos, a população acaba morando em locais de acesso mais fácil, porém impróprios para urbanização. Existe também a conivência do poder público, quando áreas suscetíveis após serem invadidas acabam sendo regularizadas, até mesmo, para cumprir promessas de campanha eleitoral.

No caso das enxurradas, é recorrente o subdimensionamento de redes de drenagem com o avanço da urbanização, quando a impermeabilização de boa parte da bacia hidrográfica acaba alterando as condições iniciais de projeto das redes pluviais. Como se pode observar, a falta de planejamento do poder público sobre a expansão urbana e, praticamente, todos os estados brasileiros, aumenta o impacto potencial dos eventos Geo-Hidrológicos.



Regionalização dos processos de movimentos de massa no Brasil

O Brasil é um país com dimensão continental, assim, observa-se que existem predomínios de tipos de movimentos de massa em cada região do país (Figura 104). A faixa leste, entre as serras e a faixa litorânea, que se estende desde o Sul do país até o Espírito Santo, avançando para o interior do estado de Minas Gerais (até a região metropolitana de Belo Horizonte) é a região com maior recorrência de deslizamentos (destaque em vermelho na figura 104). Isso se dá tanto pela suscetibilidade natural da região com presença de áreas mais declivosas, como também por ser uma região bastante ocupada. As maiores cidades do Brasil estão nessa região.



Figura 104: Regionalização dos processos de movimentos de massa no Brasil. Fonte: figura elaborada pelo autor.

A ocupação dessas áreas resulta em grande recorrência de deslizamentos nas capitais da faixa leste do Nordeste e no município de Manaus, no Norte. Essas cidades não têm suscetibilidade natural tão elevada. Porém, a alta taxa de ocupação, sem infraestrutura de contenção de encostas adequada, eleva o risco de deslizamentos de encostas.

As regiões Centro-Oeste, oeste da Região Sudeste e noroeste da Região Sul são caracterizadas pela maior suscetibilidade à erosão linear, formando ravinas e voçorocas (destaque em amarelo na Figura 104). Quando esses processos ocorrem próximos às áreas urbanas, em geral, estão associados à má drenagem urbana, resultando em risco edificações que estejam em seu entorno (figura 105).

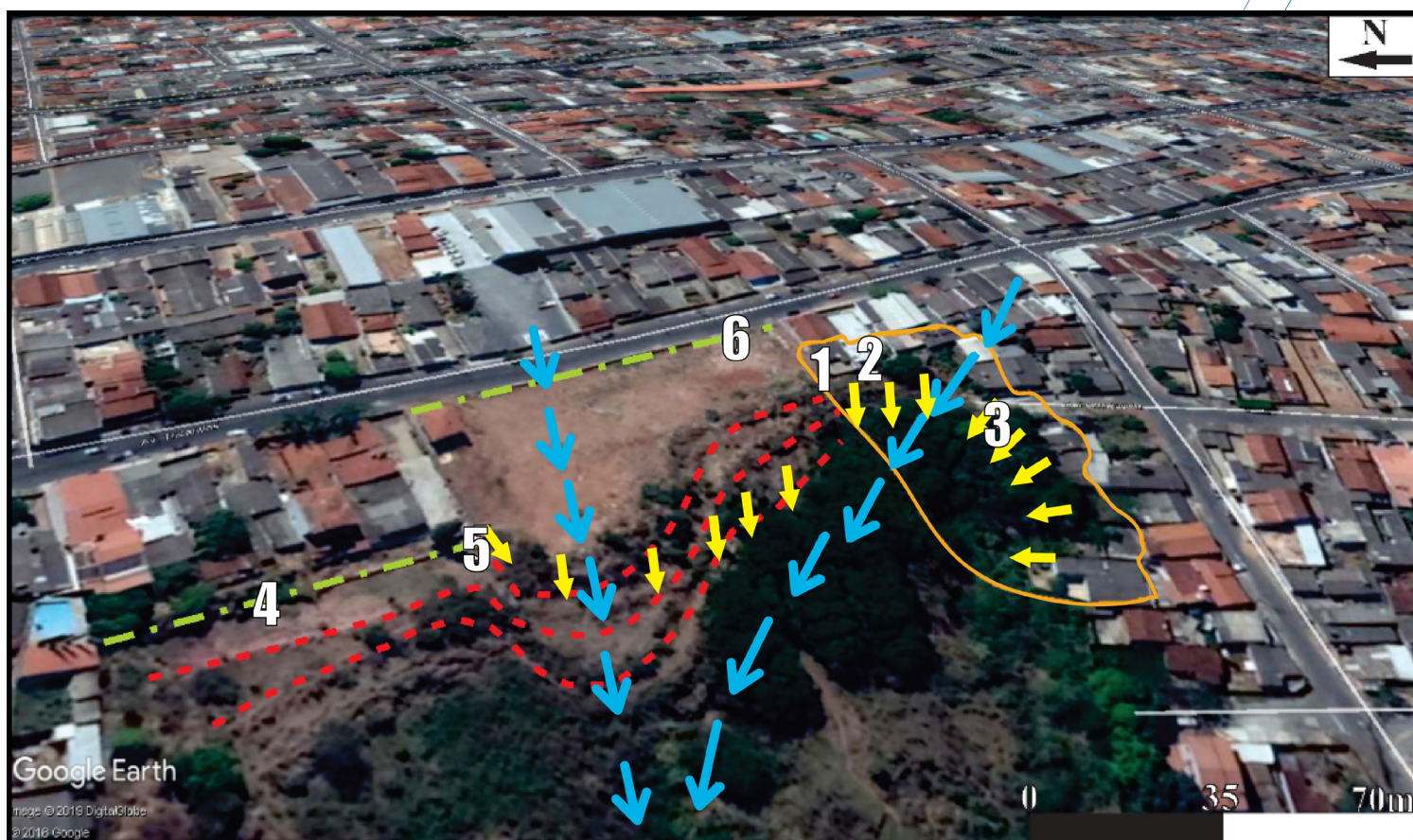


Figura 105: Cabeceira de voçoroca ocupada por moradias. Há tendência de expansão da voçoroca em direção das casas na cidade de Anápolis/GO. Fonte: CPRM (2019).

Já a Região Norte do Brasil tem maior recorrência de processos de erosão fluvial, regionalmente conhecidas por “terras caídas” (destaque em verde na Figura 104). Esse processo está associado à variação dos níveis

dos rios da bacia amazônica, em algumas sub-bacias está mais associado à elevação do nível fluvial, em outras, o rebaixamento rápido e ainda há locais que sofrem com o processo por causa das ondas geradas pelo deslocamento de barcos. As margens fluviais dos grandes rios são as mais suscetíveis a esses processos (Figura 106).

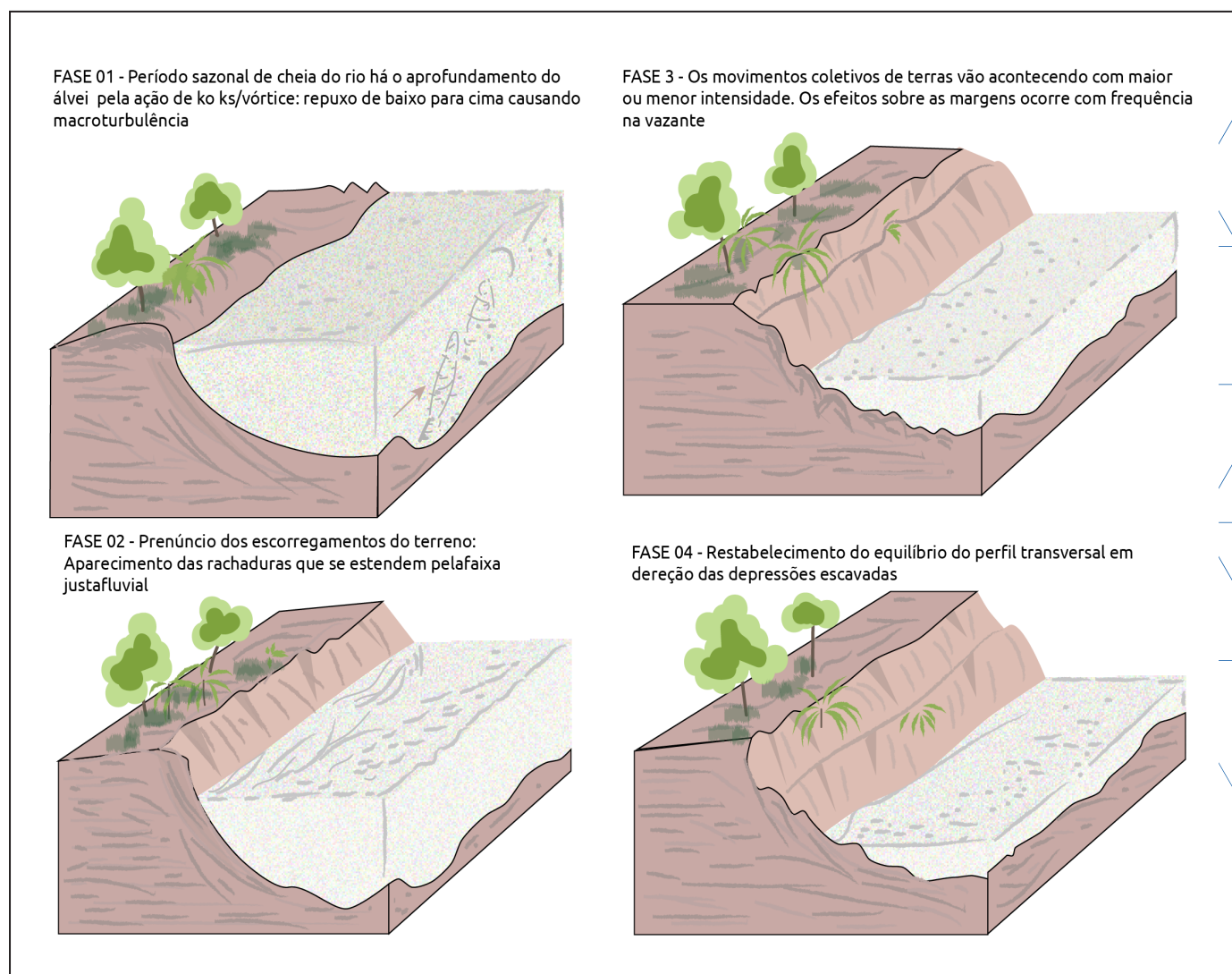


Figura 106: Evolução do processo de "terras caídas". Fonte: Adaptado de Castro e Vieira (2012).

Outra forma de observar a regionalização dos desastres no país, é pela divisão política, conforme as 5 Regiões oficiais. Estudo realizado com base nos dados de ocorrência registrados pela Defesa Civil entre 1990 e 2012, a Região Sudeste registrou o maior número de mortes por desastres (2.294 casos). Dentre os fatores que contribuem para isso, destaca-se que esta é a região com a maior densidade demográfica do país, 86,9 hab./km², sendo que a densidade

demográfica média nacional é de 23,8 hab./km² (IBGE, 2011). É comum a ocupação desordenada nessa região, em especial nas cidades médias e grandes.

Além disso, é uma das principais regiões do país com cidades instaladas em áreas com maiores declividades. A Região Sudeste é também a região brasileira com maior registro de movimentos de massa resultantes, em sua maioria, em desastres naturais, com 79,8% destes processos registrados no país no período estudado.

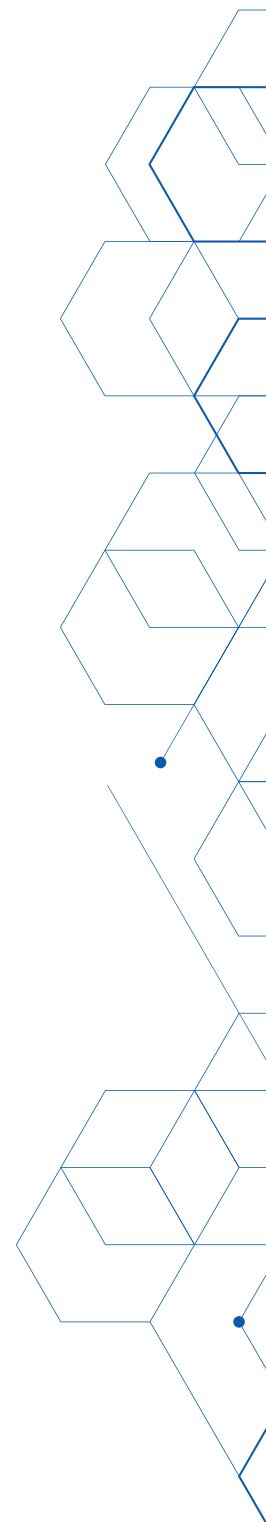
Já a Região Sul, registra mais casos de movimentos de massa, principalmente na sua porção leste, associada à presença da Serra do Mar, regiões mais declivosas como a serra gaúcha – RS, Vale do Itajaí – SC e região de Florianópolis, leste paranaense.

As áreas do Nordeste Brasileiro que mais sofrem com movimentos de massa são justamente aquelas com elevada ocupação urbana, como no município de Salvador e sua região metropolitana, Região Metropolitana de Recife, além de Maceió e Natal.

Na Região Norte do país, destaca-se o município de Manaus, com sua elevada taxa de ocupação e frequentes deslizamentos induzidos. Há ocorrência em menor proporção em outras capitais e o evento mais frequente nessa região não é de deslizamentos de terra, mas processos de erosão fluvial, chamadas regionalmente como “terras caídas”. Processos associados tanto à subida dos grandes rios, como sua descida com elevada vazão, em especial, em bacias hidrográficas menores da região, como a bacia do rio Acre.

A Região Centro-Oeste é aquela que sofre menos com os movimentos de massa. Há frequentes ocorrências de erosão linear e laminar. Na erosão linear, se destacam as ravinas e voçorocas, associadas ao escoamento superficial concentrado, que resulta em perda de solo em velocidade mais rápida. Quando nas cidades, está frequentemente relacionado à drenagem ineficiente da água da chuva, gerando concentração de água na encosta, resultando em erosão, podendo atingir o nível freático, causando voçoro-

camento. A erosão laminar ocorre principalmente em áreas de cultivo e pastagem, quando não há manejo do solo adequado, havendo perda do solo dos horizontes superiores, ricos em nutrientes para a agricultura. Este é um processo bastante lento, mas pode resultar em prejuízos econômicos.



Referências Bibliográficas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto de Estruturas Resistentes a Sismos – Procedimentos. Norma Brasileira ABNT, NBR 15.421, 2006.

ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos Carta de Recife: O desenvolvimento urbano das cidades brasileiras. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 1995. Disponível em: <<https://site.abrhidro.org.br/cartas/recife-1995/>>. Acesso em: 20 de Jan. de 2021.

ALFIERI, L.; BUREK, P.; DUTRA, E.; KRZEMINSKI, B; MURARO, D.; THIELLEN, J.; PAPPENBERGER, F. GloFAS: Global ensemble streamflow forecasting and flood early warning, Hydrol. Earth Syst. Sci., 17, 1161-1175, 2013. Disponível em: <<https://hess.copernicus.org/articles/17/1161/2013/hess-17-1161-2013.html>>. Acesso em: 21. jul. 2022

AMARAL, C.; LIMA, I. F.; VAREJÃO L. C.; SANTANA, M. Carta de risco remanescente a escorregamentos no município de Teresópolis, após o Megadesastre 11 da Região Serrana. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 12, 2011, Nova Friburgo, RJ. Anais... Rio de Janeiro: Serviço Geológico do Estado do Rio de Janeiro. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: www.drm.rj.gov.br/index.php/downloads/category/26-trabalhos-tnicos-cientficos?download=150%3Acarta-de-risco-remanescente-a-escorregamentos-no-municipio-de-teresopolis-aps-o-megadesastre-11-da-regio-serrana. Acesso em: 05 set. 2015.

ANA. Atlas de Vulnerabilidade a Inundações. 2014.

ANUÁRIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS: 2012. Brasília: CENAD, 2013. 84 p.



AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J. C. Estabilidade de taludes. In: OLIVEIRA, M. S., BRITO, S. N. A. Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

BRASIL. Anuário da Sala de Situação do Cemaden: 2017. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. São José dos Campos, 2019.

BRASIL. Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Florianópolis: CEPED – USFC, 2013.

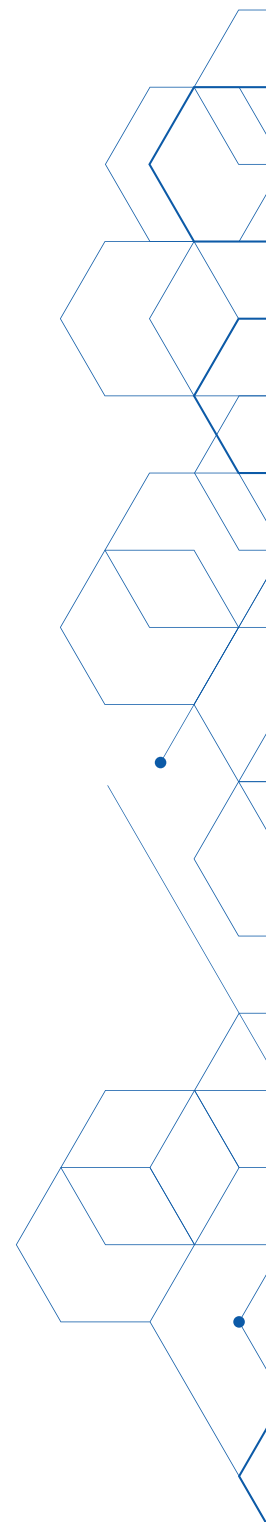
BRASIL. Ministério das Cidades/Instituto de Pesquisas Tecnológicas-IPT. Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios. CARVALHO, C. S., MACEDO, E. S., OGURA, A. T. (Orgs). Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2007, p. 176.

CALVELLO, M.; D'ORSI, R. N.; PAES, N.; MAGALHÃES, M.; LACERDA, W. A. The Rio de Janeiro Early system for rainfall-induced landslides: Analysis of performance for the years 2010-2013. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 12, 3-15, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2014.10.005>>. Acesso em: 21. jul. 2022.

CALVELLO, M., PECORARO, G. Franeitalia: a catalog of recent Italian landslides. *Geoenvironmental Disasters*, 5, 13, p. 1-16, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1186/s40677-018-0105-5>>. Acesso em: 21. jul. 2022.

CARVALHO, C. S.; GALVÃO, T. (Orgs.) Prevenção de riscos de deslizamentos em encostas: guia para elaboração de políticas públicas municipais. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 111 p., 2006. Disponível em: <<http://planodiretor.mprs.mp.br/arquivos/prevencaoriscos.pdf>>. Acesso em: 28 dez. 2017.

CASTRO, A.L.C.; CALHEIROS, L.B.; CUNHA, M.I.R.; BRINGEL, M.L.N.C. Manual de Desastres: Desastres Naturais. vol. I. Ministério da Integração Nacional. Brasília, 2003.



CASTRO, J. M. G. Pluviosidade e movimentos de massa nas encostas de Ouro Preto. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil). Minas Gerais: Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2006.

CENTRO NACIONAL DE GERENCIAMENTO DE RISCOS E DESASTRES (CENAD). Anuário brasileiro de desastres naturais: 2011. Brasília: CENAD, 2012. 80 p.

COBRADE – Classificação e Codificação Brasileira de Desastres. 2019. Disponível em: <www.defesacivil.sc.gov.br/download/cobrade/>. Acesso em: 28 de julho de 2021.

COLLISCHONN, W. Hidrologia I - Precipitação 1 (processos físicos). Canal de Walter Collischonn, 2020. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=0gJfcZ4jBk&t=935s>>. Acesso em: 28 de julho de 2021.

COMET MetEd. Runoff Processes: International Edition. Disponível em: <www.meted.ucar.edu/hydro/basic_int/runoff/navmenu.php?tab=1&page=3-7-0&type=flash>. Acesso em: 28 de julho de 2021.

COUTINHO, S. V. A precipitação e sua influência na movimentação de massa: estudo de caso. Revista Saúde e Ambiente, v. 3, n. 2, p. 11-29, 2002.

CRUDEN, D. M.; VARNES, D. J. Landslide Types and Processes, Transportation Research Board. U.S. National Academy of Sciences, Special Report. 1996. 247: p. 36-75.

CRUZ, O. Contribuição geomorfológica ao estudo de escarpas da Serra do Mar. Revista IG, v. 8-10, 11 n. 1, p. 9-20, 1990. Disponível em: <www.igeologico.sp.gov.br/downloads/revista_ig/v8-11n1a02.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2016.

DAMM, B., KLOSE, M. The landslide database for Germany: Closing the gap at national level. Geomorphology, 249, 82-93, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.03.021>>. Acesso em: 21. jul. 2022.



DRM - Serviço Geológico do Estado do Rio de Janeiro. Plano de Contingência do DRM-RJ, nov. 2016 - abr. 2017, 2017. Rio de Janeiro.

ELMASRI, R.; NAVATHE, S. B. Sistemas de Bancos de Dados. 4^o ed. São Paulo: Editora Pearson, 2005.

ESPÍNDOLA, P. L.; SALM Junior, J. F.; ROSA, F.; JULIANI, J. P. Governança de dados aplicada à ciência da informação: análise de um sistema de dados científicos para a área da saúde. RDBCI: Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação, v. 16, n. 3, p. 274-298, 2018. Disponível em: < <https://doi.org/10.20396/rdbci.v16i3.8651080>>. Acesso em: 21. jul. 2022.

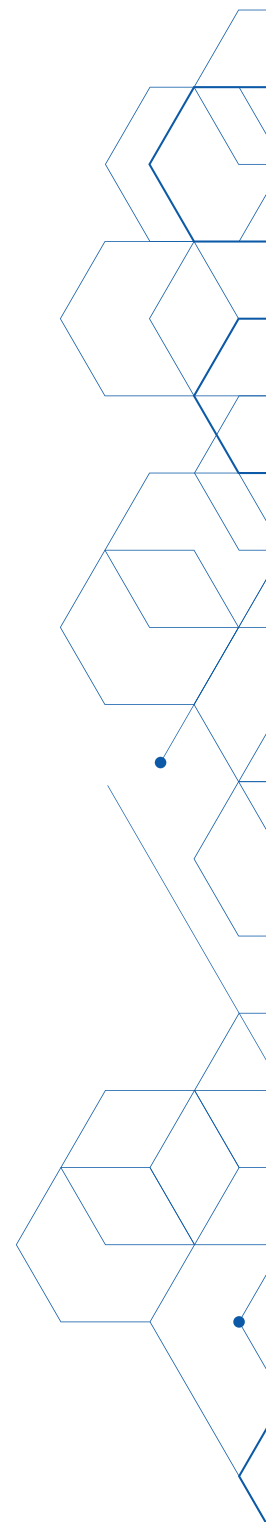
FELL, R.; COROMINAS, J.; BONNARD, C.; CASCINI, L.; LEROI, E.; SAVAGE, W.Z., (on behalf of the JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. Engineering Geology 102, 85-98, 2008. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.022>>. Acesso em: 21. jul. 2022.

FREITAS, L. E.; NUNES, F. S. B.; CRUZ, J. C. H. O.; VILELA, C.; MENDES, S.; SILVA, A. C.; BORGES, G. Atlas Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé. Rio de Janeiro: Editora Nova Tríade do Brasil Ltda, 2015. 96 p.

FRIELE, P.; JAKOB, M.; CLAGUE, J. Hazard and risk from large landslides from Mount Meager volcano, British Columbia, Canada. Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards, 2:1, 48-64, 2008.

GALLI, M.; ARDIZZONE, F.; CARDINALI, M.; GUZZETTI, F.; REICHENBACH, P. Comparing landslide inventory maps. Geomorphology, 94, 268-289, 2008.

GENOVEZ, A. M. Hidrologia Aplicada a Gestão de Pequenas Bacias. cap. 3, 2016, p. 72.



GUIDICINI, G.; IWASA, O.Y. Tentative correlation between rainfall and landslides in a humid tropical environment. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology* 16, 13-20, 1977. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/BF02591434>>. Acesso em: 21. jul. 2022.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. Estabilidade de taludes naturais e de escavação. São Paulo: Edgard Bluche, 1976. 170p.

HERVÁS, J. Landslide Inventory. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*, 610-611, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4399-4_214>. Acesso em: 21. jul. 2022.

HILKER, N.; BADOUX, A.; HEGG, C. The Swiss flood and landslide damage database 1972-2007. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 9, 913-925, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.5194/nhess-9-913-2009>>. Acesso: 2. mai. 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Base de informações do Censo Demográfico 2010: resultados do universo por setor censitário. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <www.ipea.gov.br/redeipea/images/pdfs/base_de_informacoess_por_setor_censitario_universo_censo_2010.pdf>. Acesso em: 10. jul. 2017.

IDE, F. S. Escorregamento, meteorologia e precipitação: uma proposta de método de investigação para a prevenção e monitoramento de riscos, aplicado em Campinas (SP). 2005. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental). São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2005.

IMPERVIOUS SURFACES AND FLOODING. USGS. Disponível em: <www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/impervious-surfaces-and-flooding?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects>. Acesso em: 28 de jul. 2021.

KIRSSHBAUM, D.; STANLEY, T.; ZHOU, Y. Spatial and Temporal Analysis



of a Global Landslide Catalog. *Geomorphology*, 249, 4-15, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.03.016>>. Acesso em: 21. jul. 2022.

KLOSE, M.; GRUBER, D.; DAMM, B.; GEROLD, G. Spatial databases and GIS as tools for regional landslide susceptibility modeling. *Z. Geomorphology*. 58, 1-36, 2014.

KOBIYAMA, M. Aplicação de hidrologia para redução de desastres naturais, no contexto de gestão de riscos e desastres. Seminário de Gestão de Riscos Ambientais. Jaraguá do Sul-SC. 29 e 30 de outubro de 2014. Disponível em: <https://static.fecam.net.br/uploads/1512/arquivos/323974_Hidrologia_Masato_dia_2.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2021.

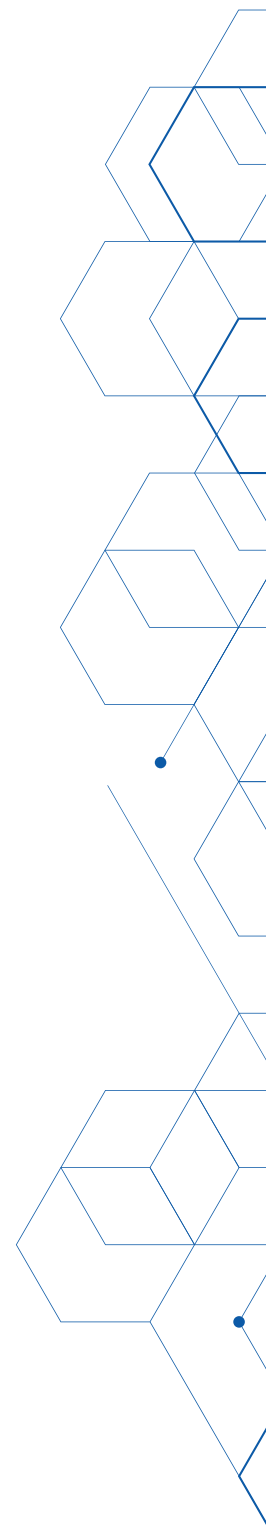
LUZ, R. A.; RODRIGUES, C. O processo histórico de ocupação e de ocorrência de enchentes na planície fluvial do rio Pinheiros de 1930 até os dias atuais. *Geosp – Espaço e Tempo (On-line)*, v. 24, n. 2, p. 340-360, ago. 2020. ISSN 2179-0892.

MACEDO, E.S.; OGURA, A.T.; SANTORO, J. O que é um plano de contingência ou plano. 2006.

MANUAL TÉCNICO PARA ELABORAÇÃO, TRANSMISSÃO E USO DE ALERTAS DE RISCO DE MOVIMENTOS DE MASSA. Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Desastres Naturais - Acordo de Cooperação Internacional Brasil-Japão. São José dos Campos, 2018.

MENDES, R. M.; VALERIO FILHO, M.; BERTOLDO, M. A.; SILVA, M. F. Estudo de limiares críticos de chuva deflagradores de deslizamentos no município de São José dos Campos, SP. *Territorium*, n. 22, p. 119-129, 2015.

MENDES, R. M.; ANDRADE, M. R. M.; TOMASELLA, J.; MORAES, M. A. E.; SCOFIELD, G. B. Understanding shallow landslide in Campos do Jordão municipality – Brazil: disentangle the anthropic effects from natural



causes in the disaster of 2000. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2018. Disponível em: <www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/18/15/2018/>. Acesso em: 6 jan. 2018.

METODIEV, D.; ANDRADE, M. R. M.; MENDES, R. M.; MORAES, M. A. E.; KONIG, T.; BORTOLOZO, C. A.; BERNARDES, T.; LUIZ, R. A. F.; COELHO, J. O. M. Correlation between rainfall and mass movements in North Coast Region of Sao Paulo State, Brazil for 2017-2018. *International Journal of Geosciences*, n. 9, p. 669-679, 2018.

MIGUEZ, M.G.; MAGALHÃES, L.P.C. Urban Flood Control, Simulation and Management: An Integrated Approach. In: A. C. Pina Filho, A. C. de Pina. (Org.). *Methods and Techniques in Urban Engineering*. 1 ed. Viena: INTECH Education and Publishing, v. 1, p. 131-160, 2010.

MUÑOZ, V. A.; MARCHEZINI, V.; BACELAR, L.; JIMENEZ, N.; VELÁSQUEZ, A. Deslventar: ferramenta conceitual e plataforma computacional para sistematização de dados e suporte à pesquisa de risco e desastres. In: MARCHEZINI, V.; WISNER, B.; LONDE, L. R.; SAITO, S. M. (Orgs.). *Redução de Vulnerabilidade a Desastres: do Conhecimento à Ação*. São Carlos: 2017. p. 311-334.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. *Hidrologia estatística*. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552 p. Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/454>>. Acesso em: 15 jul. 2021.

PARIZZI, M. G.; SEBASTIÃO, C. S.; VIANA, M. C.; CAMPOS, L. C.; CAJAZEIRO, J. M. D.; TOMICH, R. S.; GUIMARÃES, R. N.; ABREU, M. L.; SOBREIRA, F. G.; REIS, R. Correlações entre chuvas e movimentos de massa no município de Belo Horizonte (MG). *Geografias*, v. 6, n. 2, 49-68, 2010.

PIDWIRNY, M. *Cloud Formation Processes*. *Fundamentals of Physical Geography*, 2nd Edition. 2006. Disponível em: <www.physicalgeography.net/fundamentals/8e.html>. Acesso em: 21. jul. 2022.



PIZZATO, E., GRAMANI, M. F. Mapeamento geotécnico aplicado aos riscos geológicos de movimentos gravitacionais de massa. In: GÜNTER, W. M. R.; CICCOTTI, L.; RODRIGUES, A. C. Desastres: múltiplas abordagens e desafios. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017, p. 211-229.

PRECIPITATION. National Geographic Society. 2019. Disponível em: <www.nationalgeographic.org/encyclopedia/precipitation/>. Acesso em: 28 jul. 2021.

PREVENTIVO DE DEFESA CIVIL. In: BRASIL. CARVALHO, C.S.; GALVÃO, T. (Orgs.). Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para elaboração de políticas municipais. Brasília: Ministério das Cidades, 2019, p. 78-91.

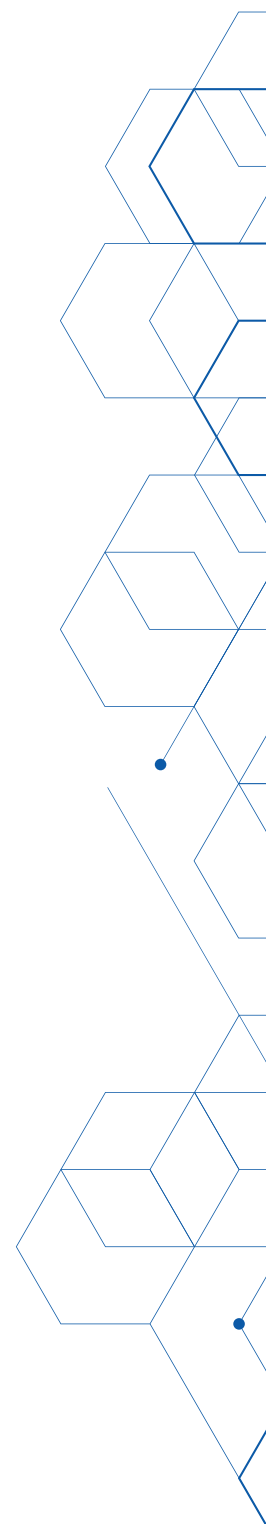
PRIETO, C. C. Previsão de deslizamentos em encostas por meio de modelagem numérica: estudo de caso na bacia Piracuama, município de Campos do Jordão, SP. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP. Disponível em: <mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2018/01.09.21.38/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2021.

RAMOS, F. L., RAMOS FILHO, G. M. Correlação entre movimentos de massa e pluviosidade nas encostas de João Pessoa (PB), Brasil. Geotecnica, n. 133, p. 51-62, 2015.

RENNÓ, C.D. Modelagem Hidrológica. Curso de Uso Escolar de Sensoriamento Remoto no Estudo do Meio Ambiente. 9, São José dos Campos, 18 de julho de 2018. INPE. Disponível em: <www.dsr.inpe.br/DSR/educacao/uso-escolar-sensoriamento-remoto/material-didatico-2018/arquivos/7.ModelagemHidrolgica.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2021.

RENNÓ, C.D.; BORMA, L.S. Hidrologia de Vertentes e Escoamento Superficial. 2017. 75 slides. Disponível em: <www.dpi.inpe.br/~camilo/prochidr/pdf/02vert.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2021.

REZENDE, O.M. Análise Quantitativa da Resiliência a Inundações



para o Planejamento Urbano: Caso da Bacia do Canal do Manguê no Rio de Janeiro. 2018. Tese (Doutorado) – Programa de Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/11407/1/OsvaldoMouraRezende.pdf>>. Acesso em 20 jan. 2021.

SANTORO, J.; MENDES, R. M.; PRESSINOTTI, M. M. N.; MANOEL, G. R. Correlação entre chuvas e deslizamentos ocorridos durante a operação do Plano Preventivo de Defesa Civil em São Paulo, SP. Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Ambiental, 7, 2010. Maringá: Anais eletrônicos, CD-ROM, 2010, p. 1-15.

SÃO PAULO (cidade). Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: gerenciamento do sistema de drenagem urbana. São Paulo: SMDU, 2012. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/desenvolvimento_urbano/arquivos/manual-drenagem_v1.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2021.

SELBY, M. J. Hillslope material and process. 2. ed. Nova Iorque: Oxford University Press, 1993, 466p.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Inventário de Escorregamentos do Estado do Rio de Janeiro. Brasília: CPRM, 2000, 27 p.

SIDLE, R.; OCHIAI, H., Landslide: processes, prediction, and land use. Washington: American Geophysical Union, 2006.

SOBREIRA, F. G.; DE SOUZA, L. A. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v. 2, n. 1, p. 79-97, 2012.

TATIZANA, C.; OGURA, A.T.; CERRI, L.E.S.; ROCHA, M.C.M. Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos – Serra do Mar, município de Cubatão. Anais do Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia 5, São Paulo, 1987a, 2, 225-236.

TATIZANA, C.; OGURA, A.T.; CERRI, L.E.S.; ROCHA, M.C.M. Modelamento



numérico da análise de correlação entre chuvas e escorregamentos aplicado às encostas da Serra do Mar no município de Cubatão. Anais do Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia 5, São Paulo, 1987b, 2, 237-248.

TIPOS DE CHUVAS. Toda matéria. Disponível em: www.todamateria.com.br/tipos-de-chuvas/. Acesso em: 28 jul. 2021.

TOMINAGA, L. K. Desastres naturais: por que ocorrem? In: TOMINAGA, L. K., SANTORO, J. AMARAL, R. (Org.) Desastres naturais: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. p. 11-23.

TUCCI, C.E.M. Coeficiente de Escoamento e Vazão máxima de bacias urbanas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. 5(1). jan.-mar. 2000. p. 61-68.

TUCCI, C.E.M. Inundações urbanas. Porto Alegre: ABRH/Rhama, 2007. 356p.

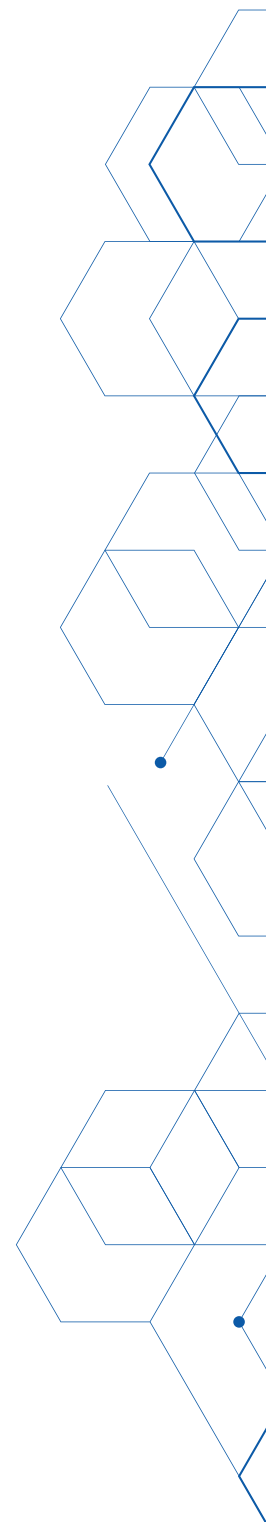
UNISDR. Revealing Risk, Redefining Development, GAR 2011. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. United Nations International Strategy for Disaster Reduction Secretariat. Geneva, 2011.

UNISDR. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. Geneva, 2015b.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION - REGIONAL OFFICE FOR THE AMERICAS (UNISDR – AM). The “silent disaster of local losses”. Panamá, 2013. Disponível em: www.unisdr.org/archive/35664. Acesso em: 10 jan. 2014.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). The landslide handbook - a guide to understanding landslides. US: Reston, Virginia. Geological Survey Circular 1325, 2008. 129 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC). CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES NATURAIS (CEPED). Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2012. 2. ed ver.



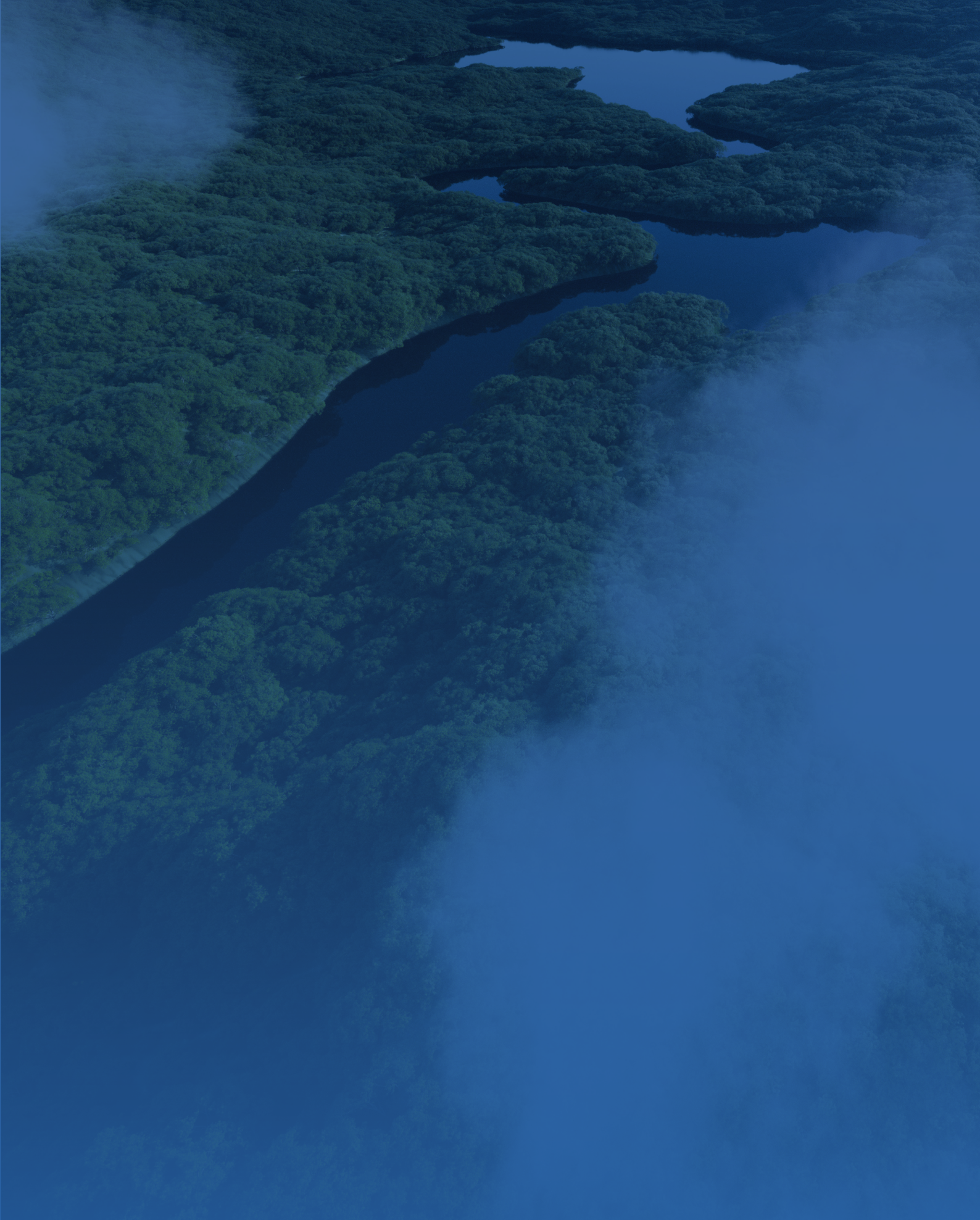
ampl. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013. 126 p. Disponível em: <<https://s2id.mi.gov.br/paginas/atlas/>>. Acesso em: 10. jul. 2017.

VAN DEN EECKHAUT, M.; HERVÁS, J. State of the art of national landslide databases in Europe and their potential for assessing landslide susceptibility, hazard and risk. *Geomorphology*, 139-140, p. 545-558, 2012.

VARBLE, A.; ZIPSER, E. J.; FRIDLIND, A. M.; ZHU, P.; ACKERMAN, A. S.; CHABOUREAU, J. P.; COLLIS, S.; FAN, J.; HILL, A; SHIPWAY, B. Evaluation of cloud-resolving and limited area model intercomparison simulations using TWP-ICE observations: 1. Deep convective updraft properties: Eval. of TWP-ICE CRMs and LAMs Pt. 1. United States, 2014. Disponível em: < <https://doi.org/10.1002/2013JD021371>>. Acesso em: 21. jul. 2022.

ZUQUETTE, L. V. Riscos, desastres e eventos naturais perigosos: aspectos conceituais na análise e estimativa de riscos. Rio de Janeiro, 2018, p. 290.





Cemaden
Centro Nacional de Monitoramento
e Alertas de Desastres Naturais



MINISTÉRIO DA
**CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES**

MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL