

A GEOTECNOLOGIA NO MONITORAMENTO, ALERTA E PREVENÇÃO DE DESASTRES - OS DESASTRES NATURAIS E TECNOLÓGICOS NO CENÁRIO BRASILEIRO E ESTUDOS DE CASO DO EMPREGO DE GEOTECNOLOGIAS COMO SUBSÍDIO A SUA MITIGAÇÃO

Claudia Vanessa dos Santos Corrêa¹

Desastres e suas classificações

Anteriormente à discussão sobre o emprego de geotecnologias no monitoramento, alerta e prevenção de desastres, torna-se necessário esclarecer e compreender as distinções entre os termos “desastre”, “perigo” e “risco”, uma vez que frequentemente são utilizados de forma equivocada e errônea, causando dúvidas e confusões entre a comunidade científica e os tomadores de decisão da esfera pública e privada.

O termo “risco” (*risk*), conforme destacam Kobiyama *et al.* (2006), muitas vezes é tratado como sinônimo para “perigo” (*hazard*) no Brasil, apesar de possuírem distintos significados. **Perigo** se refere a um evento, fenômeno ou atividade humana potencialmente danosa, que pode causar perda de vidas ou ferimentos a pessoas, danos a propriedades, rupturas socioeconômicas ou degradação ambiental. Por outro lado, o termo **risco** é definido como a probabilidade de consequências prejudiciais, ou danos esperados (morte, ferimentos a pessoas, prejuízos econômicos etc.) resultantes da interação entre perigos naturais ou induzidos pela ação humana e as condições de vulnerabilidade (UN-ISDR, 2004). Considerando que o **risco** é um perigo calculável, dois fatores são essenciais em sua formulação: o **perigo** de se ter um evento, fenômeno ou atividade humana potencialmente danosa e a **vulnerabilidade**, ou seja, o grau de suscetibilidade do elemento exposto ao perigo. Isso indica que o impacto do desastre dependerá das características, probabilidade e intensidade do perigo, bem como da vulnerabilidade das condições físicas, sociais, econômicas e ambientais dos elementos expostos (TOMINAGA, 2015a). Adicionalmente, **suscetibilidade** é a componente socioeconômica e demográfica, que captura a predisposição de um grupo populacional de sofrer danos em face de um fenômeno perigoso (BRAGA; OLIVEIRA; GIVISIEZ, 2016).

Desastre, por sua vez, é definido como resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema (vulnerável), causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais (CASTRO, 1998). Para Quarantelli (1998), um desastre é um evento concentrado no tempo e no espaço, no qual uma comunidade experimenta severo perigo e destruição de seus serviços essenciais, acompanhado por dispersão humana, perdas materiais e ambientais, que frequentemente excedem a capacidade dessa comunidade em lidar com as consequências do desastre sem assistência externa.

¹ Ecóloga, Geógrafa, MSc. e Dr^a. em Geociências e Meio Ambiente. Pesquisadora de pós-doutorado em Geociências (UNESP - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus Rio Claro). E-mail: claudia.correa@unesp.br.

Os desastres diferem-se entre si quanto a sua intensidade e origem, conforme apontamentos de Castro (1998). Sobre a intensidade, Tominaga (2015b) salienta que sua avaliação em desastres é fundamental, pois facilita o planejamento da resposta e da recuperação da área atingida. Assim, as ações e os recursos necessários para socorro às vítimas dependem da intensidade dos danos e dos prejuízos provocados (TOMINAGA, 2015b) (Quadro 1).

Quadro 1. Classificação dos desastres em relação a sua intensidade (adaptado de Castro, 1999; Kobiyama *et al.*, 2006; Tominaga, 2015b).

| Nível | Intensidade | Situação |
|-------|---|--|
| I | Desastres de pequeno porte (também chamados de acidentes), onde os impactos causados são pouco importantes e os prejuízos pouco vultosos (menor que 5% do PIB – Produto Interno Bruto – municipal). | Facilmente superável com os recursos do município. |
| II | Média intensidade. Os impactos são de alguma importância e os prejuízos são significativos, embora não sejam vultosos (entre 5% a 10% do PIB municipal). | Superável pelo município, desde que envolva uma mobilização e administração especial. |
| III | Grande intensidade. Danos importantes e prejuízos vultosos, entre 10% a 30% do PIB municipal. | A situação de normalidade pode ser restabelecida com recursos locais, desde que complementados com recursos estaduais e federais. (Situação de Emergência – SE). |
| IV | Muito grande intensidade. Impactos muito significativos e prejuízos muito vultosos. | Não é superável pelo município sem que receba ajuda externa. Eventualmente necessita de ajuda internacional. (Estado de Calamidade Pública – ECP). |

Sobre a classificação baseada na origem dos desastres, em 2008 o EM-DAT (*The International Disaster Database* – Banco de Dados Internacional de Desastres, vinculado ao CRED - Centro de Pesquisa de Epidemiologia em Desastres, da Organização Mundial da Saúde) reclassificou os tipos de desastres em seu banco de dados (SCHEUREN *et al.*, 2008). Os desastres foram classificados em dois grandes grupos: naturais e tecnológicos. Os desastres naturais foram divididos em seis sub-grupos: biológicos, geofísicos, climatológicos, hidrológicos, meteorológicos e extraterrestres (meteoritos). Os biológicos referem-se a um desastre causado pela exposição a organismos vivos e suas substâncias tóxicas ou mesmo a doenças transmitidas por vetores, como malária e dengue. Os desastres classificados como geofísicos compreendem aos terremotos e às atividades vulcânicas. Os climatológicos são desastres causados por processos atmosféricos de longo alcance, de escala meso a macro, com variabilidade climática intra-sazonal a multi-decadal, como os incêndios florestais e as estiagens. Os hidrológicos, que englobam escorregamentos, inundações e corridas de massa, caracterizam-se pela ocorrência, movimentação e distribuição de água doce ou salgada superficial e subsuperficial. Os meteorológicos referem-se às condições climáticas e atmosféricas extremas de escala micro e meso, que possuem curta duração (temporalidade de minutos a dias), como tempestades e temperaturas extremas. Os desastres compreendidos como extraterrestres são causados por asteroides, meteoroides e cometas quando passam próximo à Terra, interceptam a atmosfera e/ou a atingem. Podem modificar as condições interplanetárias e afetam a magnetosfera, ionosfera e termosfera terrestre.

Os desastres tecnológicos são atribuídos em parte ou no todo a uma intenção humana, erro, negligência, ou uma falha de um sistema humano, resultando em danos (ou ferimentos) significativos ou mortes (ZHOURI *et al.*, 2016). Assim, são reconhecidos 3 grupos: os de acidentes industriais (derramamentos químicos, explosões, vazamento de gás, radiação, derramamento de óleo), acidentes de transporte (aéreos, aquáticos e terrestres) e acidentes diversos (incêndios, rompimento de barragens e colapsos).

No âmbito dos desastres naturais, destaca-se que atualmente eles constituem uns dos grandes problemas socioeconômicos mundiais e podem ser provocados por diversos fenômenos, tais como inundações, escorregamentos, erosão, terremotos, tornados, furacões, tempestades, estiagem, entre outros. Além da intensidade dos fenômenos naturais e do quadro atual de mudanças climáticas, o acelerado processo de urbanização verificado nas últimas décadas em várias partes do mundo, inclusive no Brasil, levou ao crescimento das cidades, muitas vezes em áreas impróprias à ocupação, aumentando as situações de perigo e de risco a desastres naturais (TOMINAGA, 2015b). Kobiyama *et al.* (2006) salientam que dentre os principais fatores que contribuem para desencadear os desastres nas áreas urbanas, destacam-se a impermeabilização do solo, o adensamento das construções, a conservação de calor e a poluição do ar. Nas áreas rurais, a compactação dos solos, o assoreamento dos rios, os desmatamentos e as queimadas são as principais condições para a ocorrência de desastres.

Por definição, os desastres envolvem duas esferas: a social e a ambiental, ou seja, as principais etapas de análise de risco. Diversas disciplinas e ciências podem contribuir para o gerenciamento do risco como a hidrologia, geomorfologia, geologia, sociologia, meteorologia, antropologia, entre outras (GOERL; KOBİYAMA, 2013).

Os desastres naturais e tecnológicos no cenário brasileiro

Segundo Alcántara-Ayala (2002), as ocorrências dos desastres estão relacionadas às características geoambientais da paisagem e à vulnerabilidade do sistema social sob impacto, isto é, do sistema econômico-social-político-cultural (Figura 1).

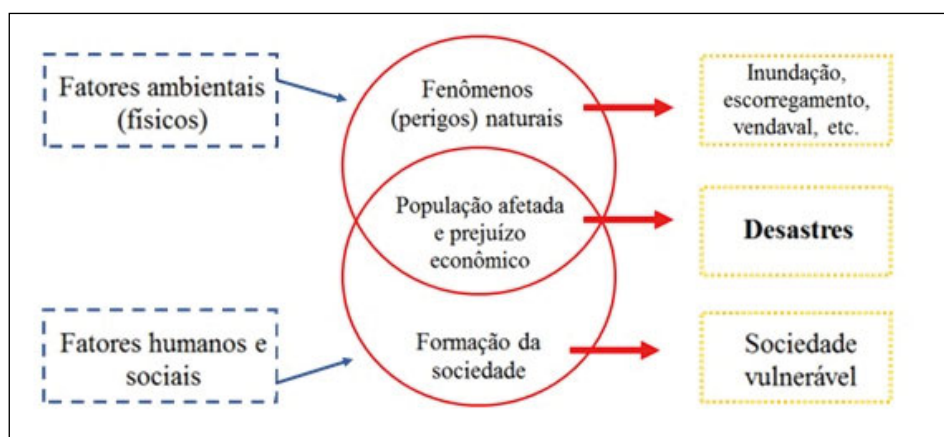


Figura 1. Fatores envolvidos na ocorrência de desastres. Adaptado de Kobiyama, Goerl e Monteiro (2018).

Tominaga (2015b) aponta que no Brasil, os principais fenômenos relacionados a desastres naturais são derivados da dinâmica externa da Terra, tais como inundações, processos hidrodinâmicos na forma de corridas, escorregamentos, queda de blocos e tempestades. Estes fenômenos ocorrem normalmente associados a eventos pluviométricos intensos e prolongados, nos períodos chuvosos que correspondem ao verão na região sul e sudeste e ao inverno na região nordeste (TOMINAGA, 2015b).

Nesse contexto, com o aumento populacional das últimas décadas, em sua maioria sem planejamento adequado, o registro de desastres naturais vem aumentando significativamente, principalmente nos países em desenvolvimento (ALCÁNTARA-AYALA, 2002). No cenário nacional, a forma desordenada como as cidades cresceram nos últimos anos é a principal causa da ocorrência de escorregamentos, corridas, inundações (JACOB; SULAIMAN, 2016). Várias cidades no Brasil apresentam condições urbanísticas precárias, na qual vem ocorrendo ocupações em áreas de encostas e margens de rios, tornando-as vulneráveis a eventos de grandes impactos. Wright e Krone (1990) salientam que a ocupação de encostas íngremes e de margens de córregos sem obedecer a critérios técnicos é um fator que aumenta os danos provocados quando desastres naturais são deflagrados.

Ademais, existem discussões na comunidade científica de que o cenário atual de aquecimento global vem contribuindo para o aumento da ocorrência de desastres naturais. Sobre essa afirmação, Marengo (2010) destaca que como um dos resultados das mudanças climáticas provocada pelo homem, a frequência dos eventos climáticos extremos aumentou, tanto em termos de quantidade quanto de intensidade. Tal fato passou a ser observado de modo mais nítido a partir da segunda metade do século 20, e especificamente durante os últimos cinquenta anos no Sudeste da América do Sul (MARENGO, 2010). No Brasil subtropical, Groisman *et al.* (2005) e Marengo *et al.* (2009) identificaram um grande aumento sistemático da precipitação desde os anos de 1950 e, no Sudeste do Brasil, detectaram um aumento na frequência dos eventos pluviiais extremos.

Vários autores afirmam que a consequência direta do aquecimento global é a alteração da dinâmica climática e o incremento de eventos atmosféricos extremos, que podem causar grandes danos socioeconômicos, em virtude dos episódios pluviiais intensos, secas, vendavais, granizo e tornados (EASTERLING *et al.*, 2000; SMITH, 2000; BERZ *et al.*, 2001; HOUGHTON, 2003; MCBEAN, 2004). Debortoli *et al.* (2017) corroboram tal afirmação, apontando que a variabilidade climática também contribuiu para o aumento da severidade dos desastres naturais, como escorregamentos, inundações, corridas e estiagens, devido ao aumento da frequência e intensidade de tempestades e secas.

Assim, entre 1991 e 2012 foram computados quase 39 mil registros de desastres no Brasil, que afetaram, aproximadamente, 127 milhões de pessoas. Portanto, em média, ocorreram 1.772 desastres naturais por ano, considerando o respectivo período, e 5,7 milhões de pessoas foram afetadas de alguma forma pelos fenômenos no país. Em termos de ocorrências extremas, foram verificados 3.448 óbitos nesse período, o que contabiliza cerca de 156 mortes por ano. Em termos econômicos, entre 1995 e 2014, foram estimadas perdas totais de R\$ 182,7 bilhões, o que equivale a perdas anuais de R\$ 9 bilhões, algo como R\$ 800 milhões mensais (BRASIL, 2013).

Os desastres naturais que ocorrem com maior frequência no Brasil são estiagens e secas, inundações, vendavais e granizo (UFSC, 2013a) (Figura 2 e 3), e os municípios mais atingidos localizam-se nos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Espírito Santo, Santa Catarina, Paraná, Bahia, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Paraíba e Ceará (CARVALHO; GALVÃO, 2006; KOBAYAMA *et al.*, 2006).

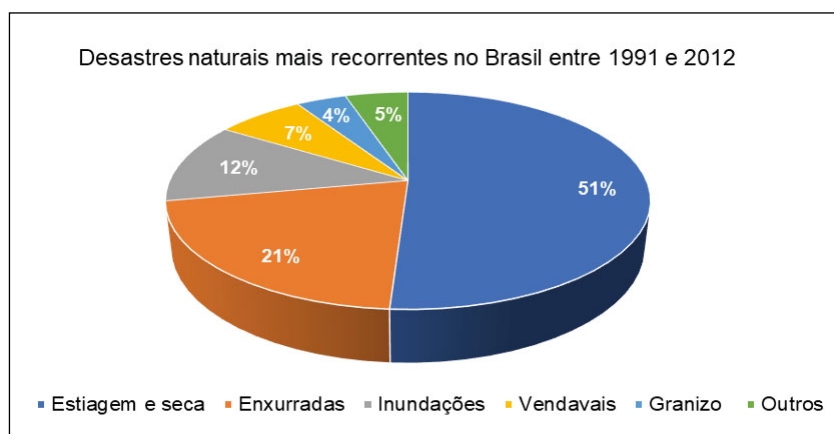
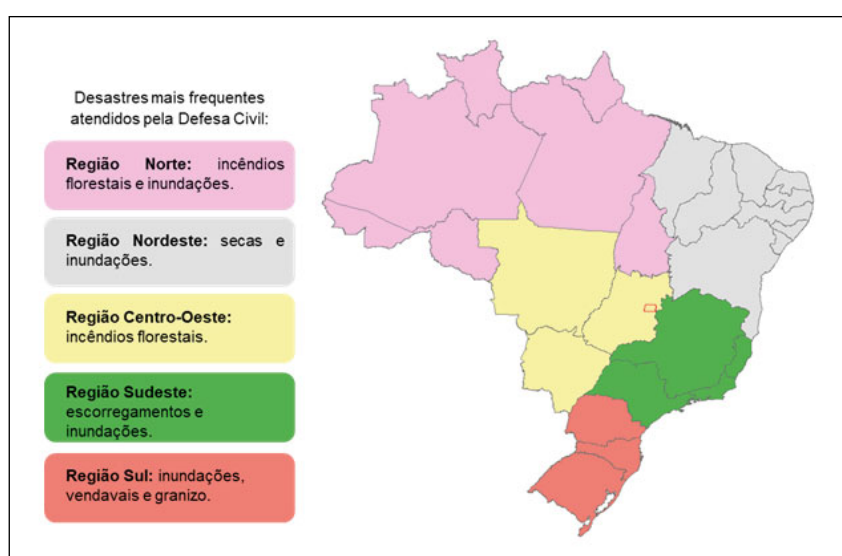


Figura 2. Desastres naturais mais recorrentes no Brasil entre 1991 a 2012. Adaptado de UFSC (2013a).



Fonte: Brasil (2014).

Figura 3. Distribuição por região dos desastres atingidos pela Defesa Civil Nacional.

Entretanto, destaca-se que inundações, escorregamentos e processos hidrodinâmicos na forma de corridas são os eventos que provocam mais impactos na população, considerando o número de pessoas afetadas e de óbitos registrados (BERTONE; MARINHO, 2013).

Em relação aos desastres tecnológicos, considerando o período entre 1900 a 2019, foram registrados no Brasil 151 ocorrências, sendo o mais recente o rompimento da barragem de rejeitos da mina Córrego do Feijão, da mineradora Vale S.A., no município de Brumadinho (MG), em janeiro de 2019 (EM-DAT, 2019; FREITAS *et al.*, 2019a). De acordo com Freitas *et al.* (2019b), este evento é considerado um dos mais graves desastres com rompimentos de barragens de mineração no mundo desde 1960, no qual foram lançados cerca de 13 milhões de metros cúbicos de lama com rejeitos de mineração. Grandes impactos ambientais foram registrados na região, principalmente sobre o rio Paraopeba, e as perdas humanas superaram 300 óbitos, se considerar que após um mês, além dos 179 óbitos identificados, ainda havia 129 pessoas não localizadas (FREITAS *et al.*, 2019b).

Nesse contexto, outro desastre tecnológico de grande magnitude registrado no Brasil foi o rompimento da barragem do Fundão, operada pela Samarco (Vale/

BHP Billiton), localizada em Mariana (MG), lançando 34 milhões de metros cúbicos de rejeitos de mineração diretamente no meio ambiente (SILVA; CARVALHO; CRUZ, 2018). O fluxo de lama se estendeu por 63 km, até a foz do Rio Doce, no Estado do Espírito Santo, e 36 municípios foram afetados pelo evento (FREITAS *et al.*, 2019a).

Outro caso de desastre tecnológico relevante no cenário nacional foi a contaminação radioativa por uma fonte de Cs-137 (Césio 137) em Goiânia (GO), em 13 de setembro de 1987. Com a finalidade de vender como sucata os equipamentos deixados pelo Instituto Goiano de Radioterapia, que havia transferido de endereço em 1985, dois catadores de papel violaram uma cápsula de chumbo contendo uma pastilha de sal de cloreto de césio (Cs-137), e no mesmo dia apresentaram vários sintomas relacionados à contaminação radioativa. Dois dias depois, o dono de um ferro-velho comprou a blindagem de chumbo que ainda continha a fonte de Cs137 violada, e, encantado com o brilho azul emitido pelo pó de césio, distribuiu entre familiares e amigos os grãos o tamanho de arroz de cloreto de césio. Cerca de um mês após a abertura da fonte quatro pessoas já haviam falecido, e segundo a Associação de Vítima do Césio 137, até setembro de 2012, 25 anos após o acidente, mais de seis mil pessoas foram atingidas pela radiação, e pelo menos 60 já morreram em decorrência do acidente (OKUNO, 2013).

O emprego das geotecnologias no monitoramento, alerta e prevenção de desastres naturais e tecnológicos

Considerando o cenário nacional frente ao aumento da ocorrência de desastres, várias metodologias e técnicas vêm sendo empregadas no monitoramento, emissão de alertas, prevenção e sua mitigação. Dentre estas, destaca-se a utilização das geotecnologias, representadas principalmente pelos dados oriundos de Sensoriamento Remoto, *softwares* de geoprocessamento, dados de GPS (*Global Positioning System*), da cartografia digital, da fotogrametria e da topografia, que progrediram e evoluíram rapidamente nos últimos anos (Figura 4). Conceitualmente, as geotecnologias podem ser definidas como “as tecnologias envolvidas na aquisição, processamento e manipulação de dados espaciais, possibilitando o armazenamento e apresentação de informações espaciais” (GONZALEZ; COSTA, 2016).

Sensoriamento Remoto se consiste na técnica de obtenção de imagens dos objetos da superfície terrestre sem que haja um contato físico de qualquer espécie entre o sensor e o objeto (MENESES; ALMEIDA, 2012). A respectiva técnica é uma das mais bem-sucedidas tecnologias de coleta automática de dados para o levantamento e monitoração dos recursos terrestres em escala global, cujo processo para produção de imagens se dá através da utilização da radiação eletromagnética refletida e/ou emitida pelos alvos, geradas por fontes naturais como o Sol e a Terra, ou por fontes artificiais, como o Radar (MOREIRA, 2005). Assim, para Carvalho-Júnior (2018), devido às características de periodicidade de imageamento, visão sinóptica e informações multiespectrais e multiespaciais, as imagens e dados produzidas pelos sensores remotos se caracterizam como ferramentas úteis na observação do alvo e avaliação integrada do ambiente, pois minimizam custos e facilitam o monitoramento da dinâmica e transformação da paisagem. Nesse contexto, nos últimos anos, a disseminação, evolução e utilização dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs – também conhecidos como *drones*) também vem se destacando em levantamentos aerofotogramétricos, cuja aplicabilidade na área de desastres tem mostrado grande relevância, pois possibilitam o mapeamento e monitoramento de áreas afetadas, a medição da pluma de contaminação em acidentes ambientais, a inspeção de incêndios florestais e a

definição de áreas de risco à inundação, a rompimentos de barragens e a processos de escorregamento, por exemplo (GRAMANI *et al.*, 2018; SOARES; PAIXÃO; KOBAYAMA, 2019). Segundo Gramani *et al.* (op.cit.), dentre as principais vantagens apresentadas por esta geotecnologia, destacam-se os fatores resolução espacial, resolução temporal e a possibilidade de aplicação de técnicas estereoscópicas, benefícios que permitem substituir as tradicionais aerofotos, que nem sempre são de fácil acesso ou baixo custo.

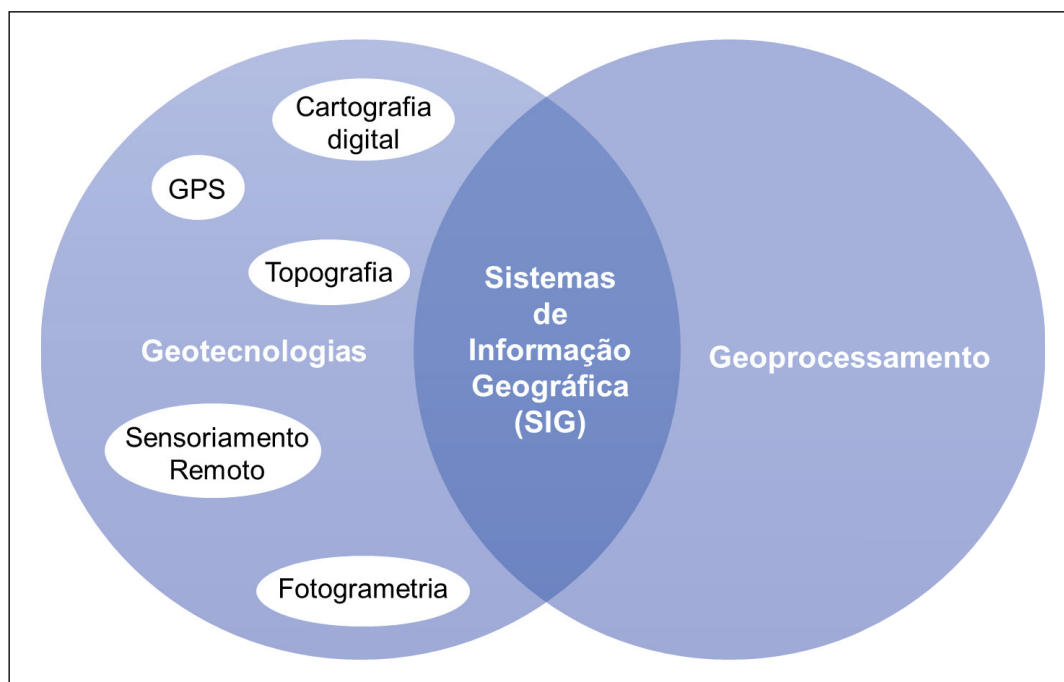


Figura 4. Inter-relações entre Geotecnologias, Sistemas de Informação Geográfica e Geoprocessamento. Adaptado de Geoplicada (2018).

O termo “geoprocessamento” refere-se à área do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica. Relacionando-se entre as geotecnologias e o geoprocessamento estão os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), ferramentas computacionais que permitem realizar análises complexas ao integrar dados de diferentes origens e ao criar banco de dados georreferenciados (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001). Campos-Garcia *et al.* (2019) destacam que nos últimos anos vêm ocorrendo um aumento na disponibilidade de *softwares* com tecnologia SIG, e, em alguns casos, estes podem ser encontrados gratuitamente na *Internet*. Com essa evolução, tornou-se cada vez mais viável e fácil realizar análises complexas com informações espaciais e não espaciais e modelar futuros cenários no âmbito dos desastres.

Por meio de algoritmos matemáticos e computacionais, o geoprocessamento possibilita o tratamento de dados e a geração de informações espaciais em diferentes formatos. Assim, sua utilização permite extrair informações ou realizar o tratamento de dados e objetos coletados de sistemas sensores referentes a objetos ou fenômenos que representam qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados, viabilizando estudos e análises na temática dos desastres (CÂMARA; MEDEIROS, 1998; MOREIRA, 2005; MARCELINO, 2008). Para Schimith, Faria e Schimith (2007), a combinação do Geoprocessamento e dos Sistemas de Informação Geográfica em análises de cunho ambiental, como no caso dos desastres naturais e tecnológicos, permite uma investigação detalhada das relações espaciais pertencentes a um ambiente-alvo, configurando-se em um sistema de apoio à decisão.

Nesse contexto, a popularização do uso do GPS (*Global Positioning System*), em conjunto com os dados oriundos do Sensoriamento Remoto e os *softwares* com tecnologia SIG, constitui-se em um importante triângulo de ferramentas das geotecnologias, que auxiliam de forma decisiva a identificação, monitoramento e o mapeamento de desastres e eventos extremos em todas as partes do mundo (SAUSEN, 2008).

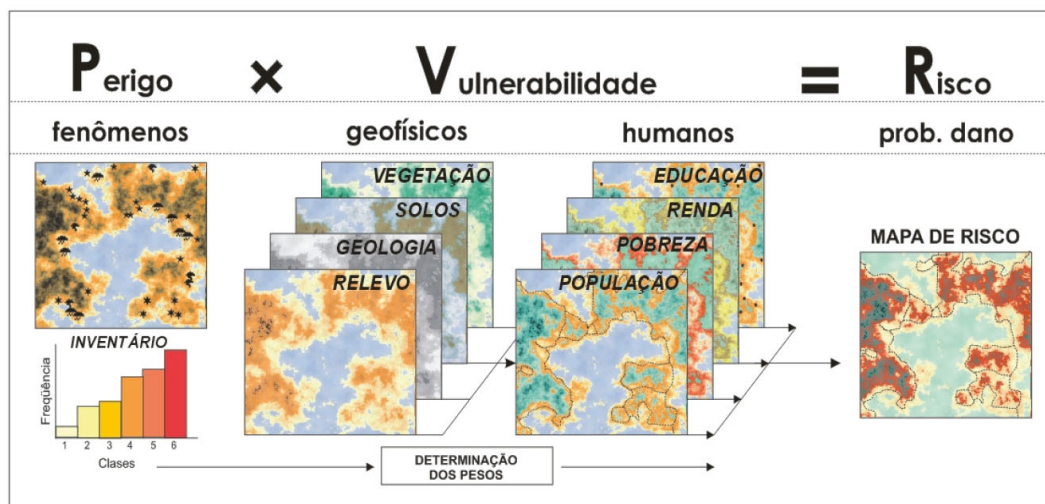
Em síntese, as geotecnologias possibilitam a coleta, armazenamento e análise de grande quantidade de dados, viabilizando estudos e análises de desastres ambientais, que devido a sua complexidade, seriam praticamente inviáveis de serem tratados utilizando métodos analógicos e/ou tradicionais (MARCELINO, 2008). Bonham-Carter (1996) enfatiza que com as ferramentas disponibilizadas pelas geotecnologias produzem-se informações em curto tempo, baixo custo e maior operacionalidade, interpolando dados espaciais multi-fontes, a fim de analisar as interações existentes entre as variáveis, elaborar modelos preventivos e dar suporte as tomadas de decisões.

Considera-se que um modelo é uma representação simplificada da realidade, que auxilia no entendimento dos processos que a envolvem, e se baseiam em descrição formal de objetos e processos, permitindo realizar simulações. Sobre a simulação de cenários no âmbito de riscos a desastres naturais, destaca-se que a utilização de modelos em estudos geoambientais é cada vez mais frequente, especialmente com o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que auxiliam na compreensão dos mecanismos de modelagem natural da paisagem, sejam por intervenções naturais ou antrópicas, impactos das mudanças no uso e na cobertura da terra, e por previsões sobre alterações futuras nos ecossistemas (REIS; ZAINÉ, 2016).

Marcelino (2008) identificou as possibilidades do emprego das geotecnologias em 4 fases distintas na área de riscos a desastres: **prevenção** e **preparação**, que correspondem ao momento que antecedem o desastre, **resposta**, ação correspondente ao desastre propriamente dito e **reconstrução**, que se refere aos procedimentos empregados depois do evento, com duração de longo a médio prazo.

A etapa de **prevenção** concentra basicamente as avaliações de risco, e os dados geoambientais, obtidos com o auxílio de dados de Sensoriamento Remoto e GPS, são transformados em planos de informações no SIG. Assim, dependendo do *software* utilizado, são selecionados modelos matemáticos que serão aplicados na interpolação dos dados, cujos resultados podem ser apresentados através de mapas de perigo, vulnerabilidade e risco (MARCELINO, 2008) (Figura 5).

Na etapa de **preparação**, que consiste no momento prévio ao impacto, as geotecnologias são utilizadas na definição de rotas de evacuação, identificação de abrigos e centros de operações de emergência, criação e gerenciamento de sistemas de alerta e elaboração de modelos meteorológicos e hidrológicos utilizados na previsão. Nesta fase, dados de Sensoriamento Remoto geralmente são empregados para fornecer as informações de base para a caracterização das áreas afetadas, bem como para realizar o monitoramento dos desastres (Figura 6)



Fonte: Marcelino (2008).

Figura 5. Distinções dos mapas de perigo, vulnerabilidade e risco produzidos através do emprego de geotecnologias na fase de prevenção a desastres naturais.

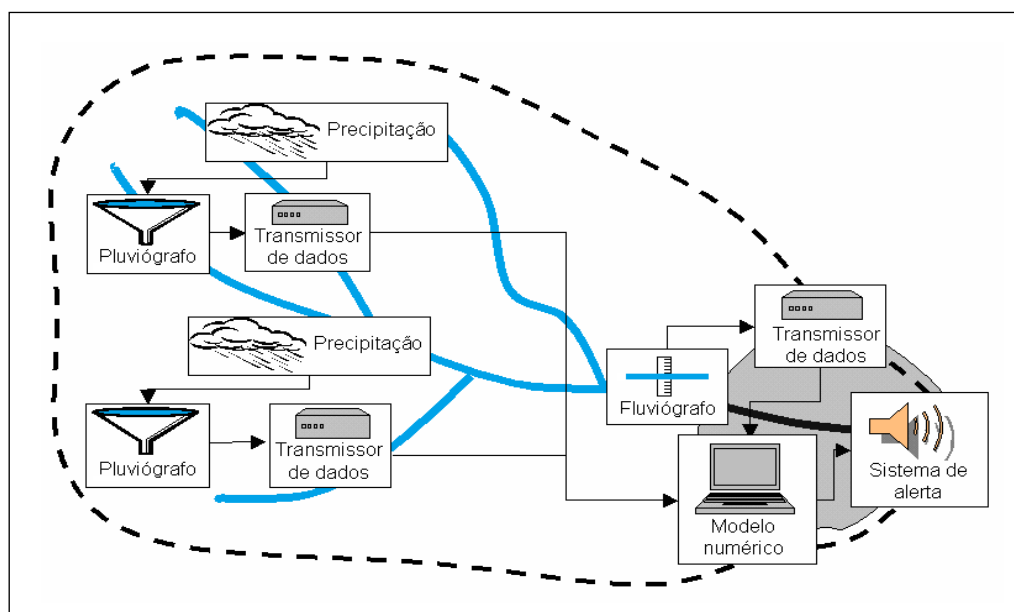


Fonte: Florenzano (2012).

Figura 6. Imagens do município de Nova Friburgo (RJ) do satélite GeoEye-1, obtidas antes (A) e depois (B) dos escorregamentos ocorridos na região serrana do Rio de Janeiro em janeiro de 2011.

Sobre a emissão de alertas, Kobiyama *et al.* (2004) apontam que o sistema a ser implantado é composto por três principais grupos: (1) previsão dos desastres (quando e onde ocorrerá); (2) transmissão das informações sobre a previsão a órgãos públicos e privados; (3) orientação para moradores que possivelmente serão prejudicados. Al-Sabhan, Mulligan e Blackburn (2003) salientam que dentre as ferramentas utilizadas no sistema de emissão de alertas a desastres destaca-se o emprego das geotecnologias, como os dados oriundos de radares meteorológicos e o monitoramento da possível área atingida com sensores remotos a bordo de satélites.

Assim, Kobiyama *et al.* (2004) esquematizaram a implantação de um sistema de alerta em bacias hidrográficas baseados em 4 componentes: (1) monitoramento, (2) transmissão dos dados, (3) modelagem e simulação e (4) orientação para as instituições responsáveis e emissão de alerta para as populações em áreas de risco (Figura 7). Os mesmos autores salientam que os itens 1, 2 e 3 concentram, especialmente, o emprego de geotecnologias em sistemas de alertas a desastres ambientais.



Fonte: Kobiyama *et al.* (2004).

Figura 7. Esquema de implantação de um sistema de alerta em bacias hidrográficas.

Para as ações de **resposta**, com um Sistema de Informação Geográfica é possível gerenciar de modo eficiente e rápido as situações mais problemáticas, como as de socorro às populações afetadas pelos desastres. O acesso a um banco de dados associados a um mapa da malha urbana poderá fornecer informações completas sobre serviços essenciais, tais como hospitais, polícia, abrigos e bombeiros. O emprego do GPS também é fundamental, pois auxilia e fornece orientações nas operações de busca e salvamento em áreas que foram devastadas.

Por fim, Marcelino (2008) apontou que na **reconstrução** as geotecnologias são amplamente empregadas na realização do inventário, avaliação dos danos causados pelos desastres e na identificação de áreas seguras para a realocação e reconstrução das comunidades afetadas, cujas informações serão utilizadas novamente nas fases de prevenção e preparação. O autor ainda ressalta que os exemplos supracitados não limitam a utilização das geotecnologias no âmbito dos desastres, já que flexibilidade é uma das vantagens desta técnica.

Partindo desses pressupostos, serão apresentadas a seguir exemplos e estudos de caso de aplicações das geotecnologias no âmbito dos desastres naturais e tecnológicos, especificamente em processos de escorregamentos, inundações, corridas de massa, secas e estiagens e incêndios florestais, identificados como os mais frequentes no cenário brasileiro e que causam mais prejuízos socioeconômicos e perdas de vidas humanas.

O emprego das geotecnologias no monitoramento, alerta e prevenção de escorregamentos (*landslides*)

Os escorregamentos (*landslides*) são processos de movimentos de massa, portanto de ação gravitacional, que envolvem materiais que recobrem as superfícies das vertentes ou encostas, tais como solos, rochas e vegetação (TOMINAGA, 2015c). São caracterizados especificamente por movimentos rápidos (m/h a m/s), de curta duração, com plano de ruptura bem definido, em que é possível observar a distinção entre o material deslizado e aquele não movimentado (CROZIER, 1986; CRUDEN *et al.*, 1994; FERNANDES; AMARAL, 1996; VANACÔR, 2006).

Os escorregamentos são importantes processos de modelamento do relevo e têm sua ocorrência ligada às encostas. Nas cidades assumem, em geral, proporções catastróficas, uma vez que são feitas diversas modificações na paisagem natural que acabam se relacionando com os fatores naturais, propiciando a deflagração destes processos (FERNANDES; AMARAL, 1996; LARSEN; TORRES-SÁNCHEZ, 1998; LISTO; CARVALHO-VIEIRA, 2012; SAMIA *et al.*, 2017).

A deflagração dos escorregamentos está relacionada especialmente a locais com altas declividades e altos índices pluviométricos, e, portanto, são principalmente registrados nas regiões montanhosas e serranas em várias partes do mundo, principalmente naquelas onde predominam climas úmidos. No Brasil, país continental de clima tropical e subtropical, os escorregamentos são mais frequentes nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste (PICHLER, 1957; CROZIER, 1986; TOMINAGA, 2015c).

Considerando-se a geometria e a natureza dos materiais instabilizados, os escorregamentos podem ser subdivididos em três tipos: escorregamentos rotacionais ou circulares, escorregamentos translacionais ou planares e escorregamentos em cunha (FERNANDES; AMARAL, 1996; TOMINAGA, 2015c).

Os escorregamentos do tipo rotacional ou circular ocorrem em superfícies de ruptura curvas, na qual o material sofre movimentação côncava para cima. Estão associados a aterros, solos mais espessos e rochas sedimentares (IPT, 1991).

Os escorregamentos classificados como translacionais, ou planares, ocorrem geralmente em solos pouco desenvolvidos, em encostas com elevadas declividades, e estão associados a períodos de pluviosidade intensa ou de longa duração que saturam as camadas de solo, deflagrando a sua desagregação e o seu transporte (AUGUSTO-FILHO, 1994). Fernandes e Amaral (1996) apontam que estes tipos de movimentos são compridos e rasos, onde o plano de ruptura encontra-se, geralmente, em profundidades rasas que variam entre 0,5 e 5,0 metros. Wollé (1988) e Lopes (2006) salientam que escorregamentos translacionais representam a forma mais frequente entre todos os tipos de movimentos de massa, e, no Brasil, são recorrentes na região da Serra do Mar.

Escorregamentos em cunha têm ocorrência mais restrita às regiões que apresentam um relevo fortemente controlado por estruturas geológicas. São associados aos maciços rochosos pouco ou muito alterados, nos quais a existência de duas estruturas planares, desfavoráveis à estabilidade, condiciona o deslocamento de um prisma ao longo do eixo de intersecção destes planos (TOMINAGA, 2015c). Ocorrem principalmente em taludes de corte ou em encostas que sofreram algum tipo de desconfinamento, natural ou antrópico (INFANTI-JÚNIOR; FORNASARI-FILHO, 1998).

Lopes (2006), investigando escorregamentos translacionais na Serra do Mar na região de Cubatão (SP), concluiu que dentre as diversas técnicas de investigação do meio físico, o Sensoriamento Remoto, seja por sensores fotográficos ou a bordo de satélites, possui excelente aplicabilidade para estudos de detecção, mapeamento e monitoramento das ocorrências desses processos. Uma das potencialidades desta ferramenta é viabilizar e otimizar o mapeamento das cicatrizes de escorregamento, caracterizadas como evidências desses processos sob a forma de marcas na paisagem, cujo levantamento é essencial para auxiliar a modelagem física do fenômeno, contribuindo para o seu entendimento e distribuição espaço-temporal (FERNANDES; AMARAL, 1996). Nesse contexto, Lopes (2006) ressalta que as fotos aéreas permitem o mapeamento dos detalhes, como formas e dimensões das cicatrizes de escorregamento, ao passo que as imagens orbitais, com uma visão sinótica da área, permitem detectar apenas as maiores cicatrizes, sem precisão para mapeá-las.

Aliado às técnicas de Sensoriamento Remoto, tem-se utilizado os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) como integradores de dados geológicos, geomorfológicos, estruturais, de uso do solo, pedológicos, de declividade etc., com o objetivo de criar mapas de

risco, de susceptibilidade ou vulnerabilidade a escorregamentos (LOPES, 2006). O autor ainda salienta que para realizar a integração dos planos de informação em ambiente SIG, têm-se utilizado regras de cruzamentos com base em operadores espaciais booleanos, ponderado auxílio de AHP (*Analytical Hierarchy Process*), árvores de decisão, *fuzzy* ou *bayseanos*.

Não obstante, Riaz *et al.* (2018) mapearam a susceptibilidade a escorregamentos da porção noroeste do Himalaia, no Paquistão, através do inventário de processos já ocorridos no local por meio da extração de cicatrizes de escorregamento em imagens do satélite *SPOT-5*, do levantamento do uso e ocupação da terra pela classificação não-supervisionada em imagens orbitais do *Landsat* e extração de dados morfométricos do terreno por técnicas de geoprocessamento em imagens do radar *SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)*. Para calcular a probabilidade a escorregamentos, os autores utilizaram a ferramenta *Arc-SDM*, uma extensão do Sistema de Informação Geográfica *ArcGIS* desenvolvida pela *USGS (United States Geological Survey - Serviço Geológico dos Estados Unidos da América)* e *GSC (Geological Survey of Canada - Serviço Geológico do Canadá)*. Os resultados produzidos evidenciaram que 79% da área possui baixa susceptibilidade a escorregamentos, 9,26% média susceptibilidade, 5,12% alta susceptibilidade e 6,30% muito alta susceptibilidade. O emprego das geotecnologias para avaliação da probabilidade a escorregamentos pode auxiliar a prever esses processos em áreas estáveis, subsidiando a implantação de sistemas de alertas e o planejamento territorial em áreas de risco (RIAZ *et al.*, 2018).

Nemirovsky, Neves e Fernandes. (2018) apresentaram outra aplicação interessante das geotecnologias como uma ferramenta para avaliar e monitorar processos de escorregamento. Considerando o município de Petrópolis (RJ) como objeto de estudo, que em janeiro de 2011 registrou o maior desastre natural da história do Brasil, os respectivos autores analisaram a distribuição espacial de escorregamentos que ocorreram na região entre 1940 a 2015, utilizando funções estatísticas em ambiente SIG. Para tal, foram adquiridos dados não espaciais com registros históricos dos processos de escorregamento no município, que posteriormente foram especializados no *software QGIS 2.10.1*. através da extensão *MMQGIS*, ferramenta capaz de atribuir coordenadas geográficas a qualquer feição, conferindo-lhe a característica de uma informação geoespacial (MINN, 2019). Ainda em ambiente SIG, com a ferramenta Densidade de Kernel, função estatística que estima a probabilidade de uma variável aleatória a partir de um raio estabelecido em torno das feições da vizinhança, foi realizada a distribuição espacial da densidade dos escorregamentos registrados no período supracitado. Como resultados, os autores observaram que a maior densidade de escorregamentos entre 1940 a 2015 se deu na porção central de Petrópolis, local que concentra a população urbana do município, bem como as construções de casas irregulares, que amplia os impactos causados pelos escorregamentos (NEMIROVSKY; NEVES; FERNANDES, 2018).

Outra possibilidade na análise e avaliação de susceptibilidade a escorregamentos é a combinação de geotecnologias com modelos computacionais de bases físicas, como o *Shalstab (Shallow Landslide Stability Analysis)* e o *Sinmap (Stability INdex MAPPING)*, capazes de realizar previsões de diferentes cenários através de equações físicas, descrevendo os respectivos fenômenos. Nesse contexto, Cabral (2018), com o objetivo de avaliar a suscetibilidade a escorregamentos nas bacias hidrográficas dos rios Mogi e Perequê, no município de Cubatão (SP), aplicou os modelos supracitados em suas análises com o auxílio da caracterização geológica-geotécnica da região. Assim, a partir de produtos de Sensoriamento Remoto (fotografias aéreas, ortofotos) e de técnicas de geoprocessamento (elaboração de Modelo Digital do Terreno – MDT – a partir de curvas de nível previamente mapeadas e interpolação de dados pluviométricos), o autor elaborou o mapa de compartimentação fisiográfica pautado em técnicas fotointerpretativas através do

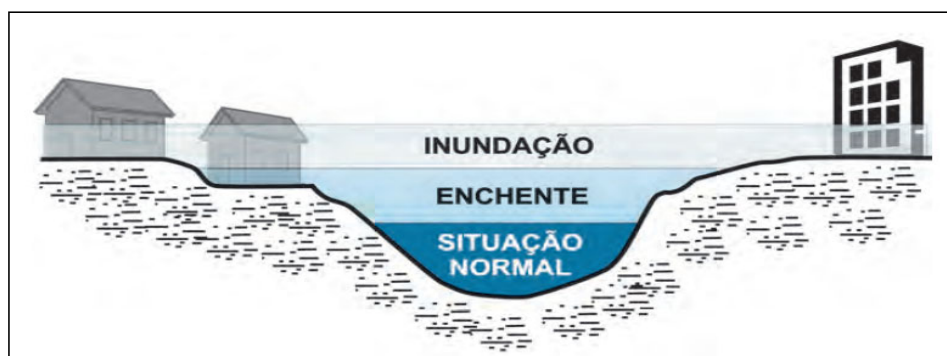
método de análise geológica de Zaine (2011), que se baseia na delimitação de unidades de compartimentação que apresentam características geomorfológicas e geológicas semelhantes. Os resultados produzidos subsidiaram a etapa de modelagem nos *softwares* *Shalstab* e *Sinmap*, e complementarmente foram extraídas as cicatrizes de escorregamento da área de estudo, com o objetivo de avaliar a performance dos respectivos modelos. Segundo o autor, as áreas mais susceptíveis em Cubatão (SP) estão situadas nas escarpas da Serra do Mar e no contato escarpa/ planície costeira, cujas evidências do processo estão representadas na forma de cicatrizes ao longo das vertentes. Ademais, o modelo *Shalstab* mostrou-se mais eficiente na representação da estabilidade da encosta na região em relação ao *Sinmap*, e o autor ainda destaca que o emprego de produtos de Sensoriamento Remoto e as técnicas de geoprocessamento auxilia o processo de modelagem, fornecendo *inputs* e possibilitando avaliar os resultados produzidos (CABRAL, 2018).

Em síntese, a utilização das geotecnologias torna-se cada vez mais importante no desenvolvimento de diferentes trabalhos voltados para áreas de risco a desastres naturais, especialmente por facilitar e agilizar o processo de elaboração de mapas distintos, agrupando uma gama de informações e possibilitando uma análise mais detalhada dos agentes atuantes no processo (SILVA-PASSOS; GOULART; COELHO, 2018). Assim, vários trabalhos foram publicados nos últimos 20 anos dentro da respectiva temática, a partir de métodos distintos, evidenciando o potencial e a flexibilidade do Sensoriamento Remoto, do Geoprocessamento e de outras ferramentas oriundas das geotecnologias.

O emprego das geotecnologias no monitoramento, alerta e prevenção de inundações (*floods*)

Previamente às discussões envolvendo o emprego das geotecnologias no monitoramento, alerta e prevenção das inundações, torna-se necessário conceituá-las corretamente, uma vez são utilizados diversos termos nas literaturas não-científicas e científicas para definir esses processos. Goerl e Kobiyama (2005) apontam que, no Brasil, as nomenclaturas associadas às inundações são: cheia, enchente, enxurrada, inundação gradual, inundação brusca, alagamentos, inundações ribeirinhas, inundações urbanas, enchentes repentinas entre outros. Assim, devido a esta diversidade de termos, há uma divergência e até mesmo confusão quanto à caracterização das inundações, e, portanto, é necessário distinguir corretamente estes fenômenos segundo suas características de ocorrência, de modo que as tomadas de decisões sejam aplicadas de maneira mais eficaz.

Inundação é o processo em que ocorre submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas, como as planícies ou terraços adjacentes. O transbordamento ocorre de modo gradual, geralmente ocasionado por chuvas fortes e rápidas ou chuvas de longa duração na bacia hidrográfica (BRASIL, 2013, p. 58; TOMINAGA, 2015d; OLIVEIRA *et al.*, 2018). Não obstante, as enchentes ocorrem “quando as águas de um rio se elevam até a altura de suas margens, sem transbordar nas áreas adjacentes” (GOERL; KOBİYAMA, 2005) (Figura 8).



Fonte: Ministério das Cidades/ IPT (2007).

Figura 8. Perfil esquemático do processo de enchente e inundação.

Além de inundação e enchente, existem também os conceitos de alagamento e enxurrada, usualmente empregados em áreas urbanas (TOMINAGA, 2015d). De acordo com o Ministério das Cidades e IPT (2007), alagamento é conceituado como acúmulo momentâneo de águas em determinados locais por deficiência no sistema de drenagem, ao passo que enxurrada é o escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não estar associado a áreas de domínio dos processos fluviais (MINISTÉRIO DAS CIDADES/ IPT, 2007, citado por TOMINAGA, 2015d).

Segundo Goerl e Kobiyama (2005), as inundações fazem parte da história da humanidade e, nos últimos anos, o número de ocorrências e o número de pessoas afetadas vêm aumentando significativamente. Considerando o período entre 2001 e 2015, cerca de 1,3 bilhões de pessoas foram afetadas por esse tipo de evento em todo o mundo, no qual 285 mil ficaram feridas e 96 mil óbitos foram registrados, além de prejuízos materiais da ordem de US\$ 400 bilhões. No Brasil, neste mesmo período, 6,8 milhões de pessoas foram afetadas de alguma forma por inundações, com mais de 2.500 óbitos contabilizados e prejuízo aproximado de R\$ 20 bilhões, o que o enquadra como um dos países do mundo mais afetados por inundações e enchentes (TOMINAGA, 2015d; EM-DAT, 2016).

De acordo com Tominaga (2015d), em condições naturais, as planícies e fundos de vales estreitos apresentam lento escoamento superficial das águas das chuvas, e nas áreas urbanas estes fenômenos têm sido intensificados por alterações antrópicas, como a impermeabilização do solo, retificação e assoreamento de cursos d'água. A partir deste modelo de urbanização, com a ocupação das planícies de inundação e impermeabilizações ao longo das vertentes, o uso do espaço interfere nos processos naturais, e, mesmo em cidades de topografia relativamente plana, onde, teoricamente, a infiltração seria favorecida, os resultados são catastróficos com a deflagração de inundações, enchentes, alagamentos e enxurradas (TAVARES; SILVA, 2008). Em suma, a ocorrência destes fenômenos está atribuída às alterações antrópicas, principalmente relacionadas como a intensa e desordenada urbanização, a ocupação de áreas de risco e o desmatamento (GOERL; KOBIYAMA, 2005).

Segundo Oliveira *et al.* (2018) diversas técnicas e métodos têm sido empregados no monitoramento, avaliação, alerta e prevenção a eventos hidrológicos extremos. Segundo os mesmos autores, algumas se baseiam na utilização de geotecnologias, como o Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e outras abordagens integram as geotecnologias a dados fluviométricos e Modelos Digitais do Terreno (MDT).

Nesse conjuntura, Lima *et al.* (2019), com o uso de geotecnologias, identificaram e avaliaram áreas susceptíveis aos alagamentos no Bairro do Tirol, no município de Natal (RN) a partir de Modelo Digital do Terreno (MDT), Modelo Digital de Superfície (MDS), dados do arranjo do sistema de drenagens pluviais, de registros históricos de

alagamentos e de precipitações horárias. Inicialmente, o Modelo Digital do Terreno, obtido através da aplicação de técnicas de geoprocessamento em curvas de nível com equidistância de 1 metro foi calibrado com pontos coletados em campo por meio de receptores *Global Navigation Satellite System (GNSS)*.

Com o objetivo de confeccionar um mapa de áreas alagáveis, Lima et al. (op.cit.) vetorizaram os sistemas de arruamento, lotes edificados e canteiros centrais, que receberam valores altimétricos, dados posteriormente somados ao MDT calibrado para a obtenção de um Modelo Digital de Superfície (MDS) simplificado. Para estimar o fluxo superficial, os autores aplicaram técnicas de geoprocessamento por meio da extensão *ArchHydro* do *Arcgis 10.2* no Modelo Digital de Superfície, que possibilitaram a localização de pontos críticos de acúmulo de água no interior das depressões urbanas (RECANATESI et al., 2017).

Assim, baseando-se nos dados históricos de alagamentos e das precipitações horárias, Lima et al. (2019) atribuíram classes de perigo à alagamento nos lotes, sendo que setores mais baixos nas depressões, com influência direta de lâmina d'água com 0,15 m, foram considerados de mais alto perigo, uma vez que são regiões com alagamentos mais recorrentes.

De maneira geral, os autores relataram que as etapas de geoprocessamento empregadas consistiram em procedimentos metodológicos eficazes para identificar e avaliar as situações de alagamentos em meio urbano, em escala de detalhe. O levantamento dos pontos críticos a alagamentos da pesquisa (setor com inúmeros empreendimentos comerciais, hospitais, clínicas médicas e áreas residenciais) pode corroborar no suporte à implementação de planos de gestão de risco a alagamentos, e subsidiar estudos futuros de avaliação do mercado imobiliário sobre a vulnerabilidade dos lotes urbanos aos alagamentos, uma vez que os alagamentos afetam diretamente áreas de importância econômica em Natal (RN), além da exposição de vidas humanas ao risco e possíveis perdas materiais e financeiras (LIMA et al., 2019).

Sob outra perspectiva, Silveira e Guasseli (2019) analisaram a dinâmica das inundações do rio Uruguai no setor de fronteira entre a Argentina e o Brasil, nas proximidades da cidade de Itaqui (RS), localizada na margem esquerda do Rio Uruguai, a partir do emprego de técnicas de Sensoriamento Remoto em imagens orbitais.

Nesse sentido, inicialmente os autores selecionaram eventos de inundação expressivos registrados no respectivo município e, posteriormente, adquiriram imagens de satélite correspondentes a esses períodos. Com o *software* SPRING, utilizando as bandas 2 e 4 do satélite *Landsat*, foi gerado o índice *NDWI (Normalized Difference Water Index)* com a finalidade de delinear feições na água presentes no ambiente e realçar sua presença nas imagens, o que destaca os alvos mais úmidos enquanto elimina a influência do solo e da vegetação terrestre (SILVEIRA; GUASSELLI, 2019). A partir das imagens de *NDWI* produzidas, os autores realizaram uma classificação por fatiamento, de modo a quantificar as áreas úmidas em cada data analisada. Ademais, a banda 5 do satélite *Landsat* foi utilizada para mapear as áreas de inundação.

Os resultados obtidos pelos autores supracitados evidenciaram que o emprego de imagens orbitais para espacializar eventos de inundações demonstrou ser eficiente, pois o uso da banda 5 do infravermelho próximo e o emprego do índice *NDWI* possibilitou identificar as áreas inundadas, mesmo que o nível da água tenha diminuído devido ao excesso de umidade do solo.

A interação entre as geotecnologias, dados fluviométricos e Modelos Digitais do Terreno (MDT) também é largamente empregada em estudos de monitoramento, previsão e alertas a inundações. Para Momo et al. (2016) e Goerl, Michel e Kobiyama (2017), o emprego de modelos que utilizam o Modelo Digital do Terreno (MDT) para extração e análise de parâmetros hidrológicos possibilita uma delimitação preliminar

das áreas suscetíveis à inundação, sendo o seu uso cada vez mais frequente, visando suprir a falta de dados hidrológicos (ZANANDREA *et al.*, 2018).

Nesse cenário, Zanandrea *et al.* (op.cit.) estimaram a área potencialmente inundada pelo evento de extrema máxima ocorrido em Tubarão (SC) em 1974 a partir do modelo computacional de base física *HAND* (*Height Above the Nearest Drainage*), que a partir de dados do terreno realiza uma estimativa da extensão máxima de uma inundação. Assim, o modelo foi alimentado pelos *inputs* Modelo Digital do Terreno de alta resolução e uma única marca de cheia.

Utilizando-se o Sistema de Informação Geográfica *ArcGIS*, inicialmente o MDT passou por correções, visando remover as depressões e, posteriormente, foram definidas a direção e a área de acumulação de fluxo para cada ponto de grade. Em seguida, o modelo *HAND* foi gerado em ambiente SIG através do cálculo da altura de cada célula em uma rasterização do MDT em relação ao seu ponto de drenagem mais próximo. A rede de drenagem e as direções dos cursos d'água locais são utilizadas para criar a distância até ao mapa de drenagem mais próximo, que representa a topologia normalizada do modelo (RENNÓ *et al.*, 2008; NOBRE *et al.*, 2011; ZANANDREA *et al.*, 2018).

Segundo Zanandrea *et al.* (op.cit.), a comparação com informações coletadas em campo sobre pontos inundados e não inundados demonstrou uma pequena subestimativa da área potencialmente inundada gerada pelo *HAND*. Entretanto, o respectivo modelo pode ser aplicado objetivando uma delimitação preliminar de áreas potencialmente inundadas, viabilizando o mapeamento inicial de áreas com potencial à ocorrência de inundação.

O emprego das geotecnologias no monitoramento, alerta e prevenção de corridas de massa (*flows*)

Corridas de massa, ou simplesmente corridas (*flows*), se referem a processos hidrogeomorfológicos desenvolvidos ao longo dos canais de drenagem, com muitas superfícies de deslocamento, médias a altas velocidades (valores da ordem de 5 a 20 m/s são mais comuns) e altas vazões de pico. O material mobilizado, cujo volume é elevado, é composto por solo, rochas, detritos e água, e o movimento se dá na forma de escoamento, envolvendo fluidos geralmente densos, com alta capacidade erosiva e destruição, além de alta força de impacto (MASSAD; CRUZ; KANJI, 1997; REIS, 2001). Gramani (2001) destaca que as corridas possuem grande raio de alcance, uma vez que o fluxo segue os canais à jusante até perder sua energia, geralmente formando grandes depósitos nas porções inferiores, que correspondem às áreas mais planas da bacia. Por essas características, a ameaça das corridas para as populações é maior do que os escorregamentos, constituindo-se como um fator de risco às populações situadas especialmente nas regiões serranas e no sopé de suas escarpas (CESCA; D'AGOSTINO, 2008; KANG; LEE, 2018).

Considerando as características do material mobilizado, as corridas de massa podem ser classificadas em corridas de terra (*earth flow*), corridas de lama (*mud flow*) e corridas de detritos (*debris flow*). De acordo com Reis (2001), as corridas de terra correspondem ao fluxo de solo com baixa quantidade de água, apresentando baixa velocidade relativa. As corridas de lama, por outro lado, referem-se ao fluxo de solo com alto teor de água, apresentando média velocidade relativa e com alto poder destrutivo e as corridas de detritos são compostas por material predominantemente grosseiro, constituído por blocos de rocha de vários tamanhos, apresentando um maior poder destrutivo (REIS, op.cit.).

A ocorrência das corridas é favorecida por fatores do meio físico, como condições geológicas, geomorfológicas, hidráulicas, climáticas e questões ligadas ao uso e ocupação da terra, que contribuem para a sua deflagração e desenvolvimento

(GRAMANI, 2001). Sakai (2014), pautado em Sauret (1987), aponta os seguintes fatores como principais agentes deflagradores das corridas de massa:

- Abundante fonte de partículas e detritos de solos e/ou rocha inconsolidados;
- Encostas íngremes (geralmente acima de 30°);
- Fonte abundante de água atingindo os materiais suscetíveis a escorregamentos (chuvas, degelo, rompimento de tubulações/ represamentos naturais ou artificiais); e
- Vegetação esparsa.

Entretanto, Fleischman (1978) e Ferreira (2013) salientam que as corridas de massa contribuem significativamente com a evolução dos relevos montanhosos e a modelagem natural do relevo. Portanto, são processos importantes para o desenvolvimento de encostas, principalmente nas regiões montanhosas (SELBY, 1993).

Segundo Polanco (2010), as áreas mais susceptíveis à ocorrência de corridas de massa no Brasil são aquelas situadas no sopé da Serra do Mar, da Serra da Mantiqueira e da Serra Geral, estendendo-se desde a região Sul até a região Norte. A mesma autora destaca que a localização de grandes concentrações urbanas, importantes setores industriais e rodovias nestes locais é um fator agravante do risco, pois estas áreas são as mais susceptíveis aos movimentos gravitacionais como os escorregamentos, cujos materiais mobilizados podem atingir canais de drenagem e deflagrar processos de corridas de massa.

Corrêa (2018), pautando-se em Lars (2004), Di *et al.* (2008) e Nery (2016), destacou que as corridas de massa vêm tornando-se cada vez mais frequentes nos últimos anos. Embora ocorram com menos frequência que os escorregamentos, no Brasil grandes eventos de corridas foram registrados, como em Caraguatatuba (SP) em 1967 e na região serrana do Estado do Rio Janeiro, considerado um dos maiores desastres ambientais no cenário nacional, cujas perdas humanas superaram mais de 900 mortes e 345 desaparecidos (CORRÊA, 2018).

Nesse sentido, para a mensuração, identificação, previsão e monitoramento dos processos de corridas de massa o emprego de geotecnologias e a modelagem se configuram como ferramentas eficientes e de baixo custo, conforme proposições de Conterato (2014) e Gregoretti, Degetto e Boreggio (2016). O advento das geotecnologias, especialmente pautadas no Sensoriamento Remoto (SR) e nos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitiu o avanço e a automatização de muitos processos nas Geociências, especialmente no tocante à geração de mapas e no cruzamento e integração de informações espaciais (LAMBERTY; TRENTIN; ROBAINA, 2018).

Assim, Nery (2016), avaliando a dinâmica das corridas de detritos em bacias hidrográficas no Litoral Norte do Estado de São Paulo a partir de parâmetros morfométricos, utilizou fotografias aéreas e ortofotos para mapear cicatrizes de escorregamento, caracterizadas como áreas fonte de material para os respectivos processos, e áreas de depósitos do fluxo a partir de critérios fotointerpretativos. Ademais, também extraiu parâmetros morfométricos das bacias hidrográficas a partir do Modelo Digital do Terreno em ambiente SIG, por meio de técnicas de geoprocessamento. Por fim, avaliou a potencialidade das bacias a corridas de detritos em função da magnitude do processo, baseado no volume de sedimentos mobilizados. Através do método empregado, baseado essencialmente em ferramentas oriundas das geotecnologias, o autor observou que a bacia do Rio Guaxinduba, situada no município de Caraguatatuba (SP), apresentou maior susceptibilidade à geração de corridas de detritos. Nery (op.cit.) ressalta que a principal vantagem do método utilizado em sua pesquisa se refere ao baixo custo de aplicação, baseando-se essencialmente em um Modelo Digital do Terreno (MDT) com uma boa resolução e o processamento dos dados em ambiente SIG.

Nesse contexto, Muñoz (2009) enfatiza que, com o advento dos SIGs, a aquisição dos atributos do relevo passou a ser um procedimento de acesso mais facilitado, que

viabiliza a classificação e descrição de forma quantitativa das formas da superfície da Terra. Partindo da premissa que os parâmetros geomorfológicos declividade e forma das vertentes são condicionantes importantes das corridas de massa, os resultados de Nery (2016) evidenciam que as geotecnologias permitem a obtenção destes parâmetros de forma automatizada a partir de dados do relevo, como o MDT.

Corrêa (2018), por outro lado, combinou técnicas de Sensoriamento Remoto à modelagem com *softwares* de simulação 3D para avaliar as corridas de detritos deflagradas em 18/03/1967 na Bacia Santo Antônio, em Caraguatatuba (SP). A partir de ortofotos da Emplasa (2011), a autora delimitou unidades geológico-geotécnicas na área, que subsidiaram e alimentaram a etapa de simulação no *software* RAMMS. Como principais resultados, observou-se que as corridas de detritos ocorridas no local em 1967 tiveram uma forte característica fluvial, sendo que grande parte dos materiais mobilizados nos escorregamentos nas escarpas alcançaram bacias de drenagem e as corridas se desenvolveram sobre seus vales, que na região da Serra do Mar são muito encaixados (CORRÊA, op.cit).

A autora também destaca que as modelagens evidenciaram que o raio de alcance desses processos na região se estende até a zona costeira, onde atualmente se encontra a área de expansão urbana do respectivo município.

O emprego das geotecnologias no monitoramento, alerta e prevenção de secas e estiagens (*droughts*)

Previamente às discussões envolvendo o emprego de geotecnologias no monitoramento de secas e estiagens, torna-se fundamental apresentar as diferenças existentes entre os dois fenômenos, conforme destacado por Serpa (2018). De acordo com a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE), secas e estiagens são classes de desastres naturais distintas, mas que pertencem ao grupo de desastres climatológicos de subgrupo seca, com código e simbologia diferentes (UFSC, 2013b).

De acordo com o Atlas Nacional de Desastres Naturais (UFSC, 2013a), a estiagem é definida como um período prolongado de baixa ou nenhuma pluviosidade, onde a perda de umidade do solo é superior a sua reposição. Já a seca pode ser considerada como uma estiagem que se prolonga durante um período suficiente para que a falta da precipitação provoque grave desequilíbrio ecológico (UFSC, 2013a).

Serpa (2018), subsidiando-se em dados do Atlas Nacional de Desastres Naturais (UFSC, 2013a), salienta que a estiagem e a seca foram os desastres naturais mais frequentes no Brasil entre 1991 a 2012 e que são enquadrados como um dos grandes problemas nacionais. Ademais, a região Nordeste é a mais afetada por estas tipologias de desastres, com quase 60% dos registros do fenômeno no Brasil. Entretanto, os estados da Região Sul também são castigados com a escassez de água, totalizando 27% dos registros de ocorrência (UFSC, 2013a).

Segundo Serpa (2018), como a seca e as estiagens se configuram como eventos que afetam áreas extensas, a análise espacial se torna dificultosa, especialmente por meio de sistemas convencionais baseados em medições de campo. Desta forma, torna-se vantajoso o uso do Sensoriamento Remoto, pois oferece uma visão simplificada e repetitiva da superfície terrestre e permite a coleta de dados de forma consistente, sistemática e objetiva, além de se configurar como uma ferramenta que apresenta baixo custo em relação a medições efetuadas em campo (SAUZEN; LACRUZ, 2015; SERPA, op.cit.). Ademais, o emprego do geoprocessamento por meio dos Sistemas de Informação Geográfica em conjunto com técnicas de Sensoriamento Remoto na análise espacial de secas e estiagens permite uma visão conjunta sobre a estrutura espacial da paisagem (SERPA, op.cit.).

A partir dessas premissas, Serpa (2018) avaliou os efeitos das secas dos anos de 2005 e 2009 no setor oeste da região sul brasileira por meio da aplicação do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), desenvolvido por Rouse *et al.* (1974), que permite identificar a presença de vegetação e caracterizar sua distribuição espacial e evolução ao decorrer do tempo (ROSEMBACK; FRANÇA; FLORENZANO, 2005; LOBATO *et al.*, 2010).

O NDVI é calculado em imagens de Sensoriamento Remoto por meio de medições nas bandas do vermelho (R) e do infravermelho próximo (NIR), que são as faixas onde a reflectância da vegetação é mais acentuada (ROSA, 2007). Os valores resultantes devem oscilar entre -1 a 1, sendo que:

- valores negativos indicam presença de nuvens e corpos d'água;
- valores positivos próximos de zero correspondem a áreas de solo exposto;
- valores entre 0,1 e 0,5 indicam principalmente vegetação de arbustos e
- os valores superiores a 0,6 indicam presença de vegetação verde e densa (SAUSEN; LACRUZ, 2015).

Para calcular o índice NDVI, Serpa (2018), utilizou as bandas do vermelho e do infravermelho do satélite *Landsat 5* dos anos de 2005 e 2009 (meses de janeiro a dezembro de cada ano). Após o cálculo do índice, de modo a viabilizar a quantificação das áreas classificadas pelo NDVI, a autora optou em reclassificá-las em cinco valores discretos, criando uma tabela de atributos com a quantidade de *pixels* classificados para cada uma das classes pré-determinadas. A quantidade de *pixels* indica a área que cada classe ocupa na imagem, sendo que cada *pixel* representa uma área de 30m x 30m (SERPA, *op.cit.*).

Com as imagens reclassificadas, em ambiente SIG, os dados da tabela de atributos foram extraídos e exportados, e com o auxílio do programa *Excel*, a autora obteve a área de cada classe e analisou a distribuição da seca entre os anos de 2005 e 2009 do setor oeste da região sul brasileira.

A partir da utilização do índice NDVI em imagens *Landsat 5*, Serpa (2018) obteve como resultados a classificação das áreas em água, solo exposto, vegetação rala, vegetação arbustiva e vegetação densa. Assim, com posse das áreas quantificadas por classe e região, identificou-se que o Estado do Rio Grande do Sul foi o mais afetado pela seca em 2005 e 2009, pois as classes de solo exposto e vegetação rala apresentaram valores maiores que nos estados de Santa Catarina e Paraná (SERPA, *op.cit.*).

Em suma, a autora salienta que a partir do emprego das geotecnologias, seja por técnicas de Sensoriamento Remoto ou de geoprocessamento, é possível caracterizar as condições ambientais e agrícolas de qualquer área com maior precisão, maior rapidez e menor custo, facilitando o monitoramento destas condições com periodicidade pré-definida (SERPA, 2018).

O emprego das geotecnologias no monitoramento, alerta e prevenção de incêndios florestais (*forest fires*)

Os incêndios florestais são originados por causas naturais ou pela ação antrópica, sobretudo em função da mudança do uso do solo para o aumento de áreas agricultáveis, cultivo florestal ou pecuária, e sua ocorrência facilita o início e a sua propagação em larga escala, cujas consequências provocam inúmeros impactos ambientais (CAMARGO *et al.*, 2019). Dentre os principais impactos, os autores destacam a destruição de bens materiais, morte de plantas, a perda de material lenhoso, da biodiversidade e do solo, a depreciação cênica da paisagem, emissões de CO² para a atmosfera e contribuição para o aumento do efeito estufa, quebra de receitas para o turismo e para a economia, a destruição de infraestruturas importantes do espaço urbano e rural e ameaça à saúde

e à vida das populações das áreas atingidas, principalmente pelo comprometimento da qualidade atmosférica local e regional (CAMARGO *et al.*, op.cit.).

A ocorrência de incêndios florestais tem provocado grande preocupação mundial, e entre 2015 e 2018, diversos desastres associados a estes eventos foram registrados pela mídia global, sugerindo uma intensificação de sua frequência e de seus impactos socioambientais e econômicos (MARTINS, 2017; ANDERSON *et al.*, 2019). Especificamente no Brasil, entre janeiro a 29 agosto de 2019, dados do Inpe (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) revelaram 87.257 pontos de incêndio, o maior já registrado em 9 anos, sendo 51,9% deles em áreas de floresta tropical, especialmente o bioma amazônico (INPE, 2019). Considerando esses dados, existe um consenso na literatura nacional e internacional de que esses eventos vêm ocorrendo com maior frequência no cenário brasileiro (SOARES; SANTOS, 2002; SANTOS; SOARES; BATISTA, 2006; UFSC, 2013a; ALVES *et al.*, 2019; BRASIL, 2019; CARNEIRO; ALBUQUERQUE, 2019, entre outros).

Devido aos inúmeros impactos que os incêndios em áreas florestais causam na Amazônia, esta temática vem sendo mais estudada a partir do início do século XXI (NEPSTAD *et al.*, 2004; MAEDA *et al.*, 2009; CHEN *et al.*, 2011; COSTA, 2018; ALVES *et al.*, 2019). Cabe ressaltar que a queimada da cobertura vegetal para uso da terra é amplamente utilizada na região como parte de um processo cultural implícito de expansão ocupacional de novas áreas para o desenvolvimento de atividades agropecuárias (corte raso) ou como técnica agrícola utilizada no manejo agropastoril (limpeza da área). Essa ação do fogo nas atividades antrópicas na Amazônia está associada aos períodos de estiagem, ocasionando incêndios florestais (fogo fora de controle em qualquer tipo de vegetação), representando importante fatia dos danos ambientais, econômicos e para a saúde humana (SALES *et al.*, 2019).

Nessa perspectiva, o levantamento e a quantificação dos incêndios florestais são primordiais para auxiliar na recomposição do meio afetado e a minimização dos impactos gerados, além de subsidiar as etapas de coordenação de combate aos focos (CAMARGO *et al.*, 2019). Para tal, o Sensoriamento Remoto tem se mostrado fundamental nesse processo, na medida em que os dados gerados por meio do uso de satélites correspondem a uma importante fonte de informações sobre os diversos fenômenos que ocorrem na superfície terrestre, permitindo a obtenção de dados de áreas muito extensas em intervalos de tempo regulares (SOARES; RESENDE; PEREIRA, 2016). Adicionalmente, o emprego de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) em análises desse escopo é um eficiente componente no controle de incêndios, pois fornece respostas imediatas que otimizam os resultados de ações e decisões (MARTINEZ; AGUILERA, 1995).

Frente a esse incremento do número de ocorrências de focos de incêndio no país nos últimos anos, o Inpe desenvolveu, em 1998, o Programa Queimadas, com o objetivo de

monitorar a cobertura da terra e o impacto do fogo com o uso de imagens de satélites, para apoiar as ações de gestão ambiental e controlar o desmatamento, queimadas e incêndios florestais (BRASIL, 2019).

Utilizando imagens de satélites polares e geostacionários de baixa (0,3 a 1 km) e média (10 a 50 m) resolução espacial para detectar e quantificar operacionalmente e em modo automático a superfície queimada no país, o programa gera mapas digitais, comparações temporais e produtos de apoio à gestão e avaliação do impacto do uso do fogo na vegetação (Figura 9).



Fonte: Inpe (2019).

Figura 9. Banco de dados de Queimadas/ Projeto Queimadas.

O programa é largamente empregado em todo o Brasil, desde as esferas municipais, estaduais e federais. Com uma interface amigável e de simples compreensão, o usuário pode baixar os dados em formato vetorial e realizar análises espaciais em ambientes SIG, viabilizando o monitoramento e identificando os focos de incêndios.

Referências

- ALCÁNTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazard, vulnerability and prevention of natural disasters developing countries. **Geomorphology**, v. 47, p. 107-124, 2002.
- AL-SABHAN, W.; MULLIGAN, M; BLACKBURN, G.A. A real-time hydrological model for flood prediction using GIS and the WWW. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 27, p. 9-32, 2003.
- ALVES, R.J.M.; PINHEIRO, D.S.; GONÇALVES, J.P.; MONTEIRO-ALVES, R.J. Análise do monitoramento de focos de calor e propostas para a redução de queimadas e incêndios em áreas protegidas no Estado do Pará. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, jun., 2019.
- ANDERSON, L.O.; MARCHEZINI, V.; MORELLO, T.F.; CUNNINGHAM, C.A. Modelo conceitual de sistema de alerta e de gestão de riscos e desastres associados a incêndios florestais e desafios para políticas públicas no Brasil. **Territorium**, v. 26, n. 1, p. 43-61, 2019.
- AUGUSTO-FILHO, O. **Cartas de risco de escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela, SP**. 1994. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo-USP, São Paulo, 1994.
- BERTONE, P.; MARINHO C. Gestão de riscos e resposta a desastres naturais: a visão do planejamento. *In*: CONGRESSO CONSAD DE GESTÃO PÚBLICA, 6., 2013, Brasília. **Anais [...]**. Brasília: CONSAD, 2013. p. 1-24.
- BERZ, W.; KRON, G.; LOSTER, T.; RAUCH, E.; SCHIMETSCHKE, J.; SCHMIEDER, J.; SIEBERT, A.; SMOLKA, A.; WIRTZ, A. World map of natural hazards: a global view of the distribution and intensity of significant exposures. **Natural Hazards**, v. 23, p. 443-465, 2001.
- BONHAM-CARTER, G.F. **Geographic information systems for geoscientists: modeling with GIS**. Ottawa: Pergamon, 1996. 398 p.
- BRAGA, T.M.; OLIVEIRA, E.L.; GIVISIEZ, G.H.N. Avaliação de metodologias de mensuração de risco e vulnerabilidade social a desastres naturais associados à mudança climática.

São Paulo em Perspectiva, v. 20, n. 1, p. 81-95, 2006.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Portaria conjunta n. 148, de 18 de dezembro de 2013. Estabelece o Protocolo de Ação Integrada para os casos de Inundação Gradual entre a Agência Nacional de Águas - ANA, o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN, representado pela Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento - SEPED/MCTI, o Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres - CENAD, representado pela Secretaria Nacional de Defesa Civil - SEDEC/MI e a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 249, p. 58, 24 dez. 2013. Portaria Conjunta n. 148, de 18 de dezembro de 2013.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. **Anuário Brasileiro de Desastres Naturais**: 2013. Brasília: CENAD, 2014.

BRASIL. **Portal do Sistema Nacional de Informações Florestais**. Serviço Florestal Brasileiro. 2019. Disponível em: snif.florestal.gov.br. Acesso em: 10 jul. 2019.

CABRAL, V.C. **Avaliação dos modelos *Shalstab* e *Sinmap* na análise da suscetibilidade a escorregamentos em Cubatão (SP)**. 2018. 115 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP, Rio Claro, 2018.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. **Geoprocessamento para projetos ambientais**: tutoriais para cursos. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 1998. 159 p.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 345 p.

CAMARGO, L.S.; SILVA, R.W.; AMARAL, S.S.; SILVA, A.P.; FERRELI, T.; SILVA, M.P.D. Mapeamento de áreas susceptíveis a incêndios florestais do município de Petrópolis – RJ. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v. 42, n. 1, p. p. 630-641, 2019.

CAMPOS-GARCIA, V.; CURI, A.; BORGES-BARBOSA, V.S.; CORREIA-BARBOSA, R. Uso do geoprocessamento na análise dos impactos ambientais causados pelo beneficiamento da Pedra Lagoa Santa no Distrito de Fidalgo, Minas Gerais. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v. 42, n. 1, p. 723-734, 2019.

CARNEIRO, K.F.S.; ALBUQUERQUE, E.L.S. Análise multitemporal dos focos de queimadas em Teresina, Estado do Piauí. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 5, n. 2, p. 31-40, 2019.

CARVALHO, C.S.; GALVÃO, T. (orgs.). **Prevenção de riscos de deslizamentos em encostas**: guia para elaboração de políticas municipais. Brasília: Ministério das Cidades: Cities Alliance, 2006.

CARVALHO-JÚNIOR, O.A. Aplicações e perspectivas do sensoriamento remoto para o mapeamento de áreas inundáveis. **Revista de Geografia**, Recife, v. 35, n. 4 (especial XII SINAGEO), p. 412-431. 2018.

CASTRO, A.L.C. **Glossário de defesa civil**: estudo de riscos e medicina de desastres. Brasília: MPO/ Departamento de Defesa Civil, 1998. 283 p.

CESCA, M.; D'AGOSTINO, V. Comparison between Flo-2D and RAMMS in debris flow modelling: a case study in the Dolomites. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MONITORING, SIMULATION, PREVENTION AND REMEDIATION OF DENSE AND DEBRIS FLOW, 2., 2008. **Proceedings [...]**. WITpress Southampton, 2008. p. 197-206.

CHEN, Y.; RANDERSON, J.T.; MORTON, D.C.; DEFRIES, R.S.; COLLATZ, J.G.; KASIBHATLA, P.S.; GIGLIO, L.; JIN, Y.; MARLIER, M.R. Forecasting fire season severity in South America using sea surface temperature anomalies. **Science**, v. 334, p. 786-791, 2011.

CONTERATO, L. **Uso do programa RAMMS na modelagem de corridas de detritos e previsão de áreas atingidas**: estudo do caso de Quitite-Papagaio. 2014. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

- CORRÊA, C.V.S. **Modelagem morfométrica para avaliação da potencialidade de bacias hidrográficas a corridas de detritos**: proposta aplicada em Caraguatatuba (SP) e São Sebastião (SP). 2018. 275 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", UNESP, Rio Claro, 2018.
- COSTA, J.F. **Estudo da dinâmica do fogo na área da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins**: uso de técnicas de Sensoriamento Remoto. 2018. 102 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - UFT - Universidade Federal do Tocantins, Porto Nacional, 2018.
- CROZIER, M.J. **Landslides**: causes, consequences and environment. London: Croom Helm Pub, 1986.
- CRUDEN, D.M.; KRAUTER, E.; LEFEBURE, G.; TER-SHEPANIYAN, G.I.; ZHANG, Z.Y. Describing landslides in several languages: the multilingual landslide glossary. *In*: DESCRIBING LANDSLIDES IN SEVERAL LANGUAGES: THE MULTILINGUAL LANDSLIDE GLOSSARY; INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY, 7., 1994, Lisboa. **Proceedings [...]**. Rotterdam; Brookfield, VT, USA: Balkema, 1994.
- DEBORTOLI, N.S.; CAMARINHA, P.I.M.; MARENGO, J.A.; RODRIGUES, R.R. An index of Brazil's vulnerability to expected increases in natural flash flooding and landslide disasters in the context of climate change. **Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards**, v. 86, n. 2, p. 557-582, 2017.
- DI, B.F.; CHEN, N.S.; CUI, P.; LI, Z.L.; HE, Y.P.; GAO, Y.C. GIS-based risk analysis of debris flow: an application in Sichuan, southwest China. **International Journal of Sediment Research**, v. 23, p.138-148, 2008.
- EASTERLING, D.R.; MEEHL, G.A.; PARMESAN, C.; CHANGNON, S.A.; KARL, T.R.; MEARN, L.O. Climate extremes: observations, modeling, and impacts. **Science**, v. 289, p. 2068-2074, 2000.
- EM-DAT. **The International Disaster Database**. 2008. Disponível em: www.emdat.be. Acesso em: 02 jul. 2019.
- EM-DAT. **The International Disaster Database**. 2016. Disponível em: www.emdat.be. Acesso em: 09 ago 2019.
- EM-DAT. **The International Disaster Database**. 2019. Disponível em: www.emdat.be. Acesso em: 15 ago 2019.
- FERNANDES, N.F.; AMARAL, C.P. Movimentos de massa: uma abordagem geológica – geomorfológica. *In*: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (orgs.). **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 123-194.
- FERREIRA, F.S. **Análise da influência das propriedades físicas do solo na deflagração dos escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar (SP)**. 2013. 113 p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo-USP, São Paulo, 2013.
- FLEISCHMAN, S.M. **Debris Flow**. Monografia. Lenigrado: Ed. Universidade de Moscou, 1978.
- FLORENZANO, T.G. Geotecnologia aplicada ao estudo de objetos e fenômenos do meio físico. **Revista Geonorte**, v. 4, n. 4, p. 146-154. 2012.
- FREITAS, C.M.; BARCELLOS, C.; ASMUS, C.I.R.F.; SILVA, M.A.; XAVIER, D.R. Da Samarco em Mariana à Vale em Brumadinho: desastres em barragens de mineração e Saúde Coletiva. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 35, n. 5, 2019a.
- FREITAS, C.M.; BARCELLOS, C.; HELLER, L.; LUZ, Z.M.P. Desastres em barragens de mineração: lições do passado para reduzir riscos atuais e futuros. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 28, n. 1, 2019b.
- GEOAPLICADA. **Geoinformática, geoprocessamento e geotecnologias, o que são e quais as diferenças entre eles**. 2018. Disponível em: <https://www.geoaplicada.com/blog/geoinformatica-geoprocessamento-e-geotecnologias/>. Acesso em: 27 jul. 2019.
- GOERL, R.F.; KOBAYAMA, M. Considerações sobre as inundações no Brasil. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO

- DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. **Anais [...]**. Porto Alegre: ABRH, 2005.
- GOERL, R.F.; KOBIYAMA, M. Redução dos desastres naturais: desafio dos geógrafos. **Ambiência**, v. 9, n. 1, p. 145-172, 2013.
- GOERL, R.F.; MICHEL, G.P.; KOBIYAMA, M. Mapeamento de áreas susceptíveis a inundação com o modelo HAND e análise do seu desempenho em diferentes resoluções espaciais. **Revista Brasileira de Cartografia**, Edição Especial Geotecnologias e Desastres Naturais, n. 69/1, p. 61-69, 2017.
- GONZALEZ, D; COSTA, A. da. Análise da percepção de risco e vulnerabilidade a partir dos alunos do ensino médio na vivência de Nova Friburgo RJ após desastre natural de 2011. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, n. 9, p. 187-211, 2016.
- GRAMANI, M.F. **Caracterização geológica-geotécnica das corridas de detritos ("Debris Flows") no Brasil e comparação com alguns casos internacionais**. 2001. 372 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Solos) - Escola Politécnica-EPUSP, Universidade de São Paulo-USP, São Paulo, 2001.
- GRAMANI, M.F.; CAVALHIERI, C.P.; SOUZA-SILVA, A.P.; MANTOVANI, J.C.; CAROU, C.B. O uso de drone Multirrotor de pequeno porte para diagnóstico e monitoramento de acidentes geológicos. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA-COBAMSEG, 19., 2018, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: ABMS, 2018.
- GREGORETTI, C.; DEGETTO, M.; BOREGGIO, M. GIS-based cell model for simulating debris flow runout on a fan. **Journal of Hydrology**, v. 534, p. 326-340, 2016.
- GROISMAN, P.Y.; KNIGHT, R.W.; EASTERLING, D.R.; KARL, T.R.; HEGERL, G.C.; RAZUVAEV, V.N. Trends in intense precipitation in the climate record. **Journal of Climate**, v. 18, p. 1326-1350, 2005.
- HOUGHTON, J. **Global warming: the complete briefing**. Cambridge: Cambridge University Press, 2003. 251 p.
- INFANTI-JÚNIOR, N.; FORSANARI-FILHO, N. Processos de dinâmica superficial. *In*: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Eds.). **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p. 131-152.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Projeto Queimadas**. 2019. Disponível em: <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>. Acesso em: 29 ago. 2019.
- IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Manual de ocupação de encostas**. São Paulo: IPT, 1991. 216 p.
- JACOB, P.R.; SULAIMAN, S.N. Governança ambiental urbana em face das mudanças climáticas. **Revista USP**, v. 109, p. 133-142, 2016.
- KANG, S.; LEE, S.R. Debris flow susceptibility assessment based on an empirical approach in the central region of South Korea. **Geomorphology**, v. 308, p. 1-12, 2018.
- KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D.A.; MARCELINO, I.P.V.O.; MARCELINO, E.V.; GONÇALVES, E.F.; BRAZETTI, L.L.P.; GOERL, R.F.; MOLLERI, G.S. F.; RUDORFF, F.M. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006. 109 p.
- KOBIYAMA, M.; CHECCHIA, T.; SILVA, R.V.; SCHRÖDER, P.H.; GRANDO, A.; REGINATTO, G.M.P. Papel da comunidade e da universidade no gerenciamento de desastres naturais. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1., 2004, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: GEDN, 2004. p. 834-846.
- KOBIYAMA, M.; GOERL, R.F.; MONTEIRO, L.R. Integração das ciências e das tecnologias para redução de desastres naturais: sócio-hidrologia e sócio-tecnologia. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. especial, p. 206-231, 2018.
- LAMBERTY, D.; TRENTIN, R.; ROBAINA, L.E.S. Análise automatizada de relevo como subsídio à avaliação de suscetibilidade a movimentos de massa. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA-SINAGEO, 12., 2018, Crato. **Anais [...]**. Crato: UGB, 2018.
- LARS, H.R. Relationships between accident investigations, risk analysis, and safety management. **Journal of Hazardous Materials**, v. 111, p. 13-19, 2004.

- LARSEN, M.C.; TORRES-SANCHEZ, A.J. The frequency and distribution of recent landslides in three montane tropical regions of Puerto Rico. **Geomorphology**, v. 24, p. 309-331, 1998.
- LIMA, C.C.; AMARO, V.E.; ARAÚJO, P.V.N.; SILVA DOS SANTOS, A.L. Identificação e avaliação de zonas de alagamentos urbanos, com o suporte de geotecnologias, na cidade de Natal, Nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v. 2, n. 2, p. 378-394, 2019.
- LISTO, F.L.R.; CARVALHO-VIEIRA, B. Mapping of risk and susceptibility of shallow landslide in the city of São Paulo, Brazil. **Geomorphology**, v. 169, p. 30–44, 2012.
- LOBATO, R.; MENEZES, J.; LIMA, L.A.; SAPIENZA, J.A. Índice de vegetação por diferença normalizada para análise da redução da mata atlântica na região costeira do distrito de Tamoios - Cabo Frio/RJ. **Caderno de Estudos Geoambientais**, v. 01, n. 01, p. 14-22, 2010.
- LOPES, E.S.S. **Modelagem espacial dinâmica em sistema de informação geográfica: uma aplicação ao estudo de movimentos de massa em uma região da Serra do Mar Paulista**. 2006. 314 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Rio Claro, 2006.
- MAEDA, E.E.; FORMAGGIO, A.R.; SHIMABUKURO, Y E.; ARCOVERDE, G.F.B.; HANSEN, M.C. Predicting forest fire in the Brazilian Amazon using MODIS imagery and artificial neural networks. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 11, p. 265-272, 2009.
- MARCELINO, E.V. **Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos**. Santa Maria: INPE, 2008. 38 p. (Cadernos Didáticos, n. 1).
- MARENGO, J.A. Históricos do clima e dos extremos climáticos no Brasil. In: MARENGO, J.A.; SCHAEFFER, R.; PINTO, H.S.; ZEE, D.M.W. **Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil**. São Paulo: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, 2010. 76 p.
- MARENGO, J.A.; JONES, R.; ALVES, L.; VALVERDE, M. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**, v. 29, p. 2241–2255, 2009.
- MARTINEZ, J.O.; AGUILERA, R. Aplicaciones de tecnologia SIG y GPS para el manejo del fuego. In: **PROGNOSIS Y GESTION EN CONTROL DE INCENDIOS FORESTALES**, 1995, Santiago do Chile. **Actas...** Santiago do Chile: Proyeto FONDEF FI-13, 1995. p. 95-101.
- MARTINS, M.M. **Fogo: visões, possibilidades e limites do seu uso na agricultura, nas unidades de conservação e nas atividades florestais**. 2017. 110 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Departamento de Engenharia Florestal, UFV – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.
- MASSAD, F.; CRUZ, P.T.; KANJI, M.A. Comparison between estimated and measured debris flow discharges and volume of sediments. In: **PAN-AMERICAN SYMPOSIUM ON LANDSLIDES**, 2.; 1997; Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: 1997.
- MCBEAN, G. Climate change and extreme weather: a basis for action. **Natural Hazards**, v. 31, p. 177–190, 2004.
- MENESES, P.R.; ALMEIDA, T. de. (Orgs.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UnB/CNPq, 2012. 276 p.
- MINISTÉRIO DAS CIDADES / IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios**. Brasília: Ministério das Cidades: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2007. 176 p.
- MINN, M. **Describes use of MMQGIS, a set of Python vector map layer plugins for Quantum GIS**. 2019. Disponível em: <http://michaelminn.com/linux/mmqgis/>. Acesso em: 19 ago. 2019.
- MOMO, M.R.; PINHEIRO, A.; SEVERO, D.L.; CUARTAS, L.A.; NOBRE, A.D. Desempenho do modelo HAND no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação usando dados de alta

- resolução espacial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 1, p. 200-208, 2016.
- MOREIRA, M.A. **Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2005. 320 p.
- MUÑOZ, V.A. **Análise geomorfométrica de dados SRTM aplicada ao estudo das relações solo-relevo**. 2009. 112 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, São José dos Campos, 2009.
- NEMIROVSKY, A.K.S.; NEVES, L.V.; FERNANDES, M.C. Análise da distribuição espacial de deslizamentos no município de Petrópolis (RJ) entre 1940 a 2015. **Revista Continentes (UFRRJ)**, ano 7, n. 13, 2018.
- NEPSTAD, D.C.; LEFEBVRE, P.A.; SILVA, U.L.; TOMASELLA, J.; SCHLESINGER, P.; SOLORZANO, L.; MOUTINHO, P.R.S.; RAY, D.G. Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: a basinwide analysis. **Global Change Biology**, v. 10, p. 704–717, 2004.
- NERY, T.D. **Dinâmica das corridas de detritos no Litoral Norte de São Paulo**. 2016. 164 p. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo-USP, São Paulo, 2016.
- NOBRE, A.D.; CUARTAS, L.A.; HODNETT, M.; RENNÓ, C.D.; RODRIGUES, G.; SILVEIRA, A.; WATERLOO, M. Height Above the Nearest Drainage - a hydrologically relevant new terrain model. **Journal of Hydrology**, v. 404, p. 13-29, 2011.
- OKUNO, E. Efeitos biológicos das radiações ionizantes: acidente radiológico de Goiânia. **Estudos Avançados**, v. 27, n. 77, 2013.
- OLIVEIRA, G.G.; FLORES, T.; HAETINGER, C.; BRESOLIN JR., N.A.; ECKHARDT, R.R.; QUEVEDO, R.P. Modelagem hidrológica e geotecnologias para análise de suscetibilidade a inundações e enxurradas em locais com baixa disponibilidade de dados altimétricos e hidrológicos. **Revista Geociências (Online)**, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 437-453, 2018.
- PICHLER, E. Aspectos geológicos dos escorregamentos de Santos. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, v. 6, n. 2, p. 69-77, 1957.
- POLANCO, L.S.E. **Correlações empíricas para fluxo de detritos**. 2010. 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia- COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ, Rio de Janeiro, 2010.
- QUARANTELLI, E.L. (ed.) **What is a disaster?** Londres: Nova York: Routledge, 1998.
- RECANATESI, F.; PETROSELLI, A.; NICOLINA, M.; LEONE, A. Assessment of stormwater runoff management practices and BMPs under soil sealing: a study case in a peri-urban watershed of the metropolitan area of Rome (Italy). **Journal of Environmental Management**, v. 201, p. 6-18, 2017.
- REIS, F.A.G.V. **Curso de geologia ambiental via Internet**. 2001. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/index.html>. Acesso em: 17 ago. 2019.
- REIS, F.A.G.V.; ZAINE, J.E. (Coords.). **Alertas meteorológicos para avaliação de risco geológico e geotécnico nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil / Alertas meteorológicos associados a risco de origem geológico e geotécnico**. Processo Fundunesp: 2.351/2014-CCP – Termo de Cooperação PETROBRAS 0050.0097435.15.9. Relatório 2. Rio Claro: UNESP; PETROBRAS, 2016.
- RENNÓ, C.D.; NOBRE, A.D.; CUARTAS, L.A.; SOARES, J.V.; HODNETT, M.G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M.J. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 3469–3481, 2008.
- RIAZ, M.T.; BASHARAT, M.; HAMEED, N.; SHAFIQUE, M.; LUO, J. A data-driven approach to landslide-susceptibility mapping in mountainous terrain: case study from the Northwest Himalayas, Pakistan. **Natural Hazards Review**, v. 19, n. 4, 2018.

- ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 6. ed. Uberlândia: Edufu, 2007. 248 p.
- ROSEMBACK, R.; FRANÇA, A.A.S; FLORENZANO, T.G. Análise comparativa dos dados NDVI obtidos de imagens CCD/CBERS e TM/ Landsat 5 em uma área urbana. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2005. p. 1075-1082.
- ROUSE, J.W.J.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A., DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: ERTS SYMPOSIUM, 3., 1974, Washington. **Proceedings [...]**. Washington: NASA, 1974. p. 309–317.
- SAKAI, R.O. **Estudo do impacto de Debris flows**: caso da Bacia do Rio Santo Antônio em Caraguatatuba (Brasil). 2014. 236 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo-USP, São Paulo, 2014.
- SALES, G.M.; PEREIRA, J.L.G.; THALÊS, M.C.; POCCARD-CHAPUISI, R.; ALMEIDA, A.S. Emprego dos focos de calor na avaliação das áreas queimadas e em incêndios florestais em Paragominas, Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v. 14, n. 1, p. 55-77, 2019.
- SAMIA, J.; TEMME, A.; BREGT, A.; WALLINGA, J.; GUZZETTI, F.; ARDIZZONE, F.; ROSSI, M. Characterization and quantification of path dependency in landslide susceptibility. **Geomorphology**, v. 292, p. 16–24, 2017.
- SANTOS, J.F.; SOARES, R.V.; BATISTA, A.C. Perfil dos incêndios florestais no Brasil em áreas protegidas no período de 1998 a 2002. **Revista Floresta**, v. 36, n. 1, p. 93-100, 2006.
- SAURET, B. **Coulées de débris canalisées - Compte rendu bibliographique**. 150/151. [S.l.]: Bull. Liaison Laboratoires Ponts et Chaussées, 1987. p. 65-77.
- SAUSEN, T.M. **Desastres naturais e geotecnologias**: sensoriamento remoto. Santa Maria: INPE – 15327-PUD/199, 2008.
- SAUSEN, T.M.; LACRUZ, M.S.P. (orgs.). **Sensoriamento remoto para desastres**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- SCHEUREN, J-M.; WAROUX, O.P.; BELOW, R.; GUHA-SAPIR, D. **Annual Disaster Statistical Review**: the Numbers and Trends 2007. Brussels: Center for Research on the Epidemiology of Disasters, 2008. 47 p.
- SCHIMITH, R.S.; FARIA, A.L.L.; SCHIMITH, D.S.B. Uso do geoprocessamento na análise ambiental da APA Carste de Lagoa Santa – MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 29., 2007, Ouro Preto. **Anais [...]**. Ouro Preto: UFOP, 2007. p. 263-270.
- SELBY, M.J. **Hillslope**: materials and process. Oxford: Oxford University Press, 1993. 451 p.
- SERPA, M.S. **Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Ndivi) para avaliação das secas no oeste da região sul do Brasil em 2005 e 2009**. 2018. 50 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade do Sul de Santa Catarina-UNISUL, Santa Catarina, 2018.
- SILVA, G.F.; CARVALHO, M.V.A.; CRUZ, C.B.M. Análise espaço-temporal do desastre ambiental em Mariana-MG a partir das geotecnologias. **Revista Continentes (UFRRJ)**, ano 7, n. 13, p. 49-67, 2018.
- SILVA-PASSOS, M.R.; GOULART, A.C.O.; COELHO, A.L.N. BDGeo Desastres – ES: protótipo para cadastro e distribuição compartilhada via Web. **Revista Guará**, ano 6, n. 10, p. 50-59, 2018.
- SILVEIRA, G.V.; GUASSELLI, L.A. Mapeamento das inundações a partir de NDWI no município de Itaqui, Rio Urugual - RS. **Revista Geociências (Online)**, São Paulo, v. 38, n. 2, p. 521–534, 2019.
- SOARES, R.V.; SANTOS, J.F. Perfil dos incêndios florestais no Brasil de 1994 a 1997. **Revista Floresta**, v. 32, n. 2, p. 219-232, 2002.
- SOARES, T.B.O.; RESENDE, F.C.; PEREIRA, G. Distribuição espacial dos focos de calor em Unidades de Conservação de Minas Gerais no Período de 2007 a 2012. **UD y la Geomática**, v. 11, p. 39-45, 2016.

- SOARES, L.; PAIXÃO, M.A.; KOBIYAMA, M. **Bibliografia de trabalhos que utilizam VANT no Brasil no período de 2007 – 2018**. Porto Alegre: Grupo de Pesquisas de Desastres Naturais – GPDEN/ Instituto de Pesquisas Hidráulicas –IPH/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul–UFRGS, 2019. 10 p. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/gpdn/wordpress/wp-content/uploads/2019/02/Bibliografia-VANT.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2019.
- SMITH, K. **Environmental hazards: assessing risk**. Florence, USA: Routledge, 2000. 352 p.
- TAVARES, A.C.; SILVA, A.C.F. Urbanização, chuvas de verão e inundações: uma análise episódica. **Climatologia e Estudos da Paisagem**, v. 3, n. 1, 2008.
- TOMINAGA, L.K. Análise e mapeamento de risco. *In*: TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL R. do (orgs.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. 3. ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2015a. p. 147-160.
- TOMINAGA, L.K. Desastres naturais: por que ocorrem? *In*: TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL R. do (orgs.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. 3. ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2015b. p. 39-52.
- TOMINAGA, L.K. Escorregamentos. *In*: TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL R. do (orgs.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. 3. ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2015c. p. 25-38.
- TOMINAGA, L.K. Inundações. *In*: TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL R. do (orgs.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. 3. ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2015d. p. 25-38.
- UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012**. 2. ed. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013a. 126 p. Volume Brasil.
- UFSC. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012**. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013b. 94 p. Volume Santa Catarina.
- UN-ISDR - International Strategy for Disaster Reduction. **Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives**. Genebra: Inter-Agency Secretariat International Strategy for Disaster Reduction (ISDR). 2004. 152 p. Disponível em: <https://www.unisdr.org/we/inform/publications/657>. Acesso em: 22. jul. 2019.
- VANACÔR, R.N. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao mapeamento das áreas susceptíveis a movimentos de massa na região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul**. 2006. 136 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS, Porto Alegre, 2006.
- WOLLE, C.M. **Análise dos escorregamentos translacionais numa região da Serra do Mar no contexto de uma classificação de mecanismos de instabilização de encosta**. 1988. 406 p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo-USP, São Paulo, 1988.
- WRIGHT, V.G.; KRONE, R.B. Erosion processes in upland areas. *In*: FRENCH, R.H. (ed.). **Hydraulics/Hidrology of Arid Lands (H2AL)**. 1990. p. 142-147.
- ZAINE, J.E. **Método de Fotogeologia aplicado a estudos geológico-geotécnicos: ensaio em Poços de Caldas, MG**. 2011. Tese (Livre docência em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”-UNESP, Rio Claro, 2011.
- ZANANDREA, F.; VANELLI, F.M.; ARAÚJO-TAVARES, T.G.; GOLDENFUM, J.A. Delimitação da área potencialmente inundada pela cheia histórica de 1974 em Tubarão, SC. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE DESASTRES, 1., 2018, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: ABRH, 2018.
- ZHOURI, A.; VALENCIO, N.; OLIVEIRA, R.; ZUCARELLI, M.; LASCHEFSKI, K.; SANTOS, A.F.M. O desastre da Samarco e a política das afetações: classificações e ações que produzem o sofrimento social. **Ciência e Cultura**, v. 68, n. 2, p. 36-40, 2016.