



Informe Técnico-Científico de Prevenção de Desastres e Ordenamento Territorial

Volume 2 - Número 1 • Março 2021



NESSE NÚMERO

- 1 - Mapeamento de Perigo a Movimentos Gravitacionais de Massa no Município de Santo Amaro da Imperatriz, Santa Catarina, Brasil
- 2 - A Qualidade da Água Subterrânea com Ênfase na Toxicidade dos Radionuclídeos na Região da Província Uranífera de Lagoa Real, Bahia, Brasil
- 3 - Considerações Preliminares do Atlas de Movimentos Gravitacionais de Massa do Estado de Santa Catarina, Brasil
- 4 - O Estudo de Uso e Cobertura do Solo para o Baixo da Boa Vista: Municípios de Xique-Xique e Itaguaçu da Bahia, Bahia, Brasil



**SERVIÇO GEOLÓGICO
DO BRASIL – CPRM**

INFORME TÉCNICO-CIENTÍFICO DE PREVENÇÃO DE DESASTRES E ORDENAMENTO TERRITORIAL

V.2, N.1, MAR. 2021

Publicação on-line seriada do Serviço Geológico do Brasil – CPRM
Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial
Departamento de Gestão Territorial – DEGET

Disponível em: rigeo.cprm.gov.br

Serviço Geológico do Brasil – CPRM
Av. Pasteur, 404 Urca - Rio de Janeiro - RJ - BRASIL
CEP: 22.290-255
Telefone:(21) 2295-0032

Contatos: seus@cprm.gov.br / solicita.deget@cprm.gov.br

COMISSÃO DE PUBLICAÇÃO

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial: Alice Silva de Castilho

Departamento de Gestão Territorial: Diogo Rodrigues da Silva

Corpo Editorial: Carlos Schobbenhaus Filho, Cassio Roberto Silva,
Maria Adelaide Mansini Maia, Maria Angélica Barreto,
Sandra Fernandes da Silva, Diogo Rodrigues da Silva.

Editor: Eduardo Paim Viglio

Corpo de revisores: Aline Costa Nogueira, André Luis Invernizzi,
Débora Lamberty, Douglas da Silva Cabral, Heródoto Góes,
Iris Celeste Nascimento Bandeira, Ivan Bispo de Oliveira Filho,
José Luiz Marmos, Júlio César Lana, Marcelo Eduardo Dantas,
Marcelly Ferreira Machado, Melissa Franzen, Michele Silva Santana,
Patrícia da Fonseca Almeida, Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff,
Raimundo Almir Costa da Conceição, Rogério Valença Ferreira,
Sheila Gatinho Teixeira, Thiago Dutra dos Santos e Tiago Antonelli.

Revisão de texto: Irinéa Barbosa da Silva e Cristiane Neres Silva

Normalização bibliográfica: Rede de Bibliotecas Ametista

Editoração eletrônica: Divisão de Editoração Geral – DIEDIG

APRESENTAÇÃO - O INFORME

O Departamento de Gestão Territorial – DEGET desenvolve programas e pesquisas que visam à coordenação, supervisão e execução de estudos do meio físico, no âmbito das geociências, voltados para o Ordenamento Territorial e a Geologia de Engenharia Aplicada, como suporte aos gestores governamentais na elaboração de políticas públicas e no atendimento à sociedade em geral.

A atuação do Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM é ampla e diversificada, pensando nisso, o DEGET promoveu no final de dezembro de 2020 o lançamento do Informe Técnico-Científico de Prevenção de Desastres e Ordenamento Territorial, publicação seriada, com periodicidade semestral, com pretensão de divulgação breve dos resultados, de relevância científica, retirados de estudos efetuados para nossos projetos regulares dos setores de Geodiversidade, Patrimônio Geológico, Estudos geomorfológicos, Geoquímica Ambiental e Geologia Médica, Recuperação Ambiental e Geotecnia, com no mínimo quatro artigos por volume.

Todos os artigos do Informe encontram-se no link do Departamento de Gestão Territorial, Difusão do Conhecimento em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Difusao-do-Conhecimento-134>.

COMISSÃO DE PUBLICAÇÃO

Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial
Departamento de Gestão Territorial - DEGET

A HISTÓRIA DO DEGET

O Serviço Geológico do Brasil - CPRM é uma empresa pública, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, que tem as atribuições de Serviço Geológico do Brasil. Sua criação ocorreu pelo Decreto-Lei nº 764, de 15 de agosto de 1969 com o objetivo de atender as necessidades de mapeamento básico e de geologia geral que sirvam de orientação para as pesquisas individuais e específicas em todo o território brasileiro.

Com o advento da legislação ambiental em 1985, houve o aumento da demanda de informações voltadas ao meio ambiente, aos recursos hídricos, ao gerenciamento territorial e prevenção de desastres.

No período compreendido entre 1986 e 1989 a CPRM foi solicitada pelo então Ministério da Irrigação, a elaborar mapas de potencial de terras para agricultura irrigada para subsidiar o Programa Nacional de Irrigação – PRONI. A multidisciplinariedade das informações envolvidas despertou o interesse para uma variedade de questões ambientais que passaram a fazer parte das discussões do grupo formado pelo Diretor da Área de Operações – DAO, Hermes Augusto Verner Inda, do engenheiro agrônomo Ari Delcio Cavedon, Coordenador de Recursos Naturais do PRONI, da geógrafa Regina Celia Gimenez Armesto, responsável pelo projeto no âmbito da CPRM, e do geólogo Valter José Marques, chefe do Departamento de Geologia – DEGEO, e apontaram a necessidade da CPRM desenvolver trabalhos de geologia social, que contemplassem a harmonização de políticas públicas e desenvolvimento econômico, em bases sustentáveis, respeitando as favorabilidades e limitações do meio físico.

Para tanto, em 1989 foi criado, no âmbito do Departamento de Geologia – DEGEO, o Núcleo de Geologia e Engenharia de Meio Ambiente – NUGEMA, com função similar à uma incubadora de projetos, que inicialmente eram desenvolvidos em regime de cooperação com diferentes setores de governo, e com o apoio do quadro técnico de instituições parceiras.

Dentro desse escopo, em 1990, foi concebido o Programa Informações para Gestão Territorial – GATE, que tinha como missão produzir, adquirir e processar informações básicas sobre o meio físico, visando dar suporte técnico-científico às decisões dos responsáveis pelo planejamento e gestão dos variados e complexos espaços geográficos do território brasileiro, com relação a problemas ambientais relacionados a riscos geológicos, gerados pela ocupação desordenada dos espaços territoriais, tanto em regiões metropolitanas, como também em escala regional.

Em 1996, com a finalidade de gerir os projetos do Programa GATE, foi então criado o Departamento de Gestão Territorial – DEGET, com duas divisões: a DIGATE – Divisão de Gestão Territorial, responsável pelos projetos realizados nas regiões Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul e a DIGEAM – Divisão de Gestão Territorial da Amazônia. Em 2016, a DIGEAM foi extinta, dando lugar à DIGEAP – Divisão de Geologia Aplicada, responsável pelos projetos que envolvem riscos geológicos e desastres naturais, enquanto na DIGATE são desenvolvidos os projetos relacionados aos temas geodiversidade, geoquímica ambiental, inventário do patrimônio geológico, mineração e meio ambiente etc.

Assim sendo, o DEGET consolida-se como o setor responsável pela execução de todas as atividades do Serviço Geológico do Brasil - CPRM relacionadas à Geologia Ambiental, à

Geologia de Engenharia e à Geologia aplicada a estudos de Planejamento Territorial. Neste contexto, a análise integrada do meio físico, que pressupõe uma avaliação conjunta das variáveis: rocha (Geologia); relevo (Geomorfologia); solos (Pedologia); clima (Climatologia); água (Hidrologia) e vegetação (Biogeografia), tem sido um dos pilares metodológicos do DEGET.

Devido à elevada complexidade e o alto nível de interdisciplinaridade de seus programas e projetos, o DEGET, na condução de seus trabalhos, utiliza-se de uma equipe multidisciplinar de profissionais para atender a sua missão institucional dentro do Serviço Geológico do Brasil, constituída por geólogos, com reforço de geógrafos e agrônomos.

Atualmente, as ações sob a responsabilidade do DEGET, estabelecidas no Programa Plurianual do Governo Federal estão focadas nas seguintes ações:

- **2D62 - Levantamento da Geodiversidade:** abrange projetos que reúnem mapeamento e informações sobre as adequabilidades e limitações frente ao uso e a ocupação do solo para a implantação de empreendimentos como agricultura, mineração, geoturismo, geoconservação e patrimônio geológico, aproveitamento dos recursos hídricos, sistema de informações geoambientais etc. Estão ainda incluídas áreas restritivas ao uso do solo devido a impedimentos legais, como unidades de conservação e áreas indígenas, áreas suscetíveis a riscos geológicos devido a expansão urbana, fontes poluidoras, entre outras aplicações. Nesta ação também estão incluídas os levantamentos do Patrimônio Geológico Nacional, a elaboração de Proposta de Geoparques e os levantamentos e monitoramentos de geoquímica ambiental e geologia médica;
- **20LA - Mapeamento Geológico-Geotécnico em Municípios Críticos com Relação a Riscos Geológicos:** compreende trabalhos e pesquisas visando a identificação e setorização de áreas de riscos; atendimentos emergenciais a municípios atingidos por eventos de risco; elaboração das cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente a desastres naturais; mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa e inundações; mapeamento de perigo a movimentos de massa; treinamento de técnicos da Defesa Civil em gerenciamento de riscos; bases de dados e Sistema Integrado de Dados para a Prevenção de Desastres Naturais – SID;
- **125 F - Implementação da Recuperação Ambiental da Bacia Carbonífera de Santa Catarina:** em decorrência da Ação Civil Pública, que condenou a União a recuperar os passivos ambientais das extintas empresas Carbonífera Treviso e Companhia Brasileira Carbonífera Araranguá – CBCA, a CPRM foi nomeada para executar o projeto de recuperação ambiental das áreas degradadas pela mineração do carvão no sul de Santa Catarina, que compreende obras e serviços de engenharia, iniciados em 2013. Trata-se de uma ação governamental de longo prazo, em função da extensão das áreas degradadas. O passivo ambiental da Carbonífera Treviso compreende aproximadamente 1.100 hectares de áreas mineradas a céu aberto, distribuídas em 11 áreas, das quais uma área foi concluída, duas áreas estão em obras, e outras duas em processo de licitação.

Regina Celia Gimenez Armesto
Cassio Roberto da Silva
Jorge Pimentel
Maria Adelaide Mansini Maia
Eduardo Paim Viglio

O NÚMERO 2

Neste segundo volume do **Informe Técnico-Científico de Prevenção de Desastres e Ordenamento Territorial**, temos mais uma pequena amostra da diversidade de setores onde a atuação do DEGET – Departamento de Gestão Territorial se faz presente, reunindo trabalhos nos estados de Santa Catarina e da Bahia

O primeiro trabalho é fruto da metodologia desenvolvida pelo acordo de cooperação técnica internacional entre o Serviço Geológico do Brasil – CPRM e o Japão para o Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Riscos em Desastres Naturais, quando foi criado o Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa. Os estudos foram efetuados em áreas definidas pela Defesa Civil Municipal de Santo Amaro da Imperatriz, Santa Catarina e seus resultados auxiliam a gestão municipal.

O segundo trabalho é resultante da dissertação de mestrado da autora, geoquímica do DEGET, que efetuou um trabalho voltado para a área de Geologia Médica ao avaliar a toxicidade dos elementos urânio, rádio e radônio em poços de água subterrânea existentes na região da Província Uranífera de Lagoa Real, Bahia. Dos 22 poços estudados, 14 apresentaram valores de radônio fora dos limites legais estabelecidos e todos possuem concentrações de ^{228}Ra acima destes limites. Estes elementos são prejudiciais à saúde humana pois sua ingestão a partir de água contaminada favorece o desenvolvimento de alguns tipos de câncer. No entanto, existem métodos relativamente simples para retirá-los da água, antes do consumo.

O terceiro artigo também usa os preceitos do convênio Brasil-Japão citado no primeiro trabalho e os aplica na montagem do Atlas de Movimentos Gravitacionais de Massa do Estado de Santa Catarina, tecendo considerações preliminares sobre seus resultados. Ele aborda a metodologia usada nos projetos de Setorização de Risco Geológico e Cartas Municipais de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundação do SGB-CPRM. Partindo da análise preliminar de elementos de cartográficos e de imagens pré-existentes aliados à busca de informações locais sobre eventos pretéritos contando principalmente com o auxílio institucional das defesas civis municipais, são identificados e colocados em mapas os setores de risco alto e muito alto nas zonas urbanas e periurbanas, tornando-se excelente ferramenta de gestão territorial municipal.

No quarto e último trabalho voltamos ao estado da Bahia, mais precisamente versando sobre o estudo do uso e cobertura do solo na região do Baixio da Boa Vista, que engloba os municípios de Xique-Xique e Itaguaçu da Bahia. Ao utilizar imagens de satélite Landsat-8 de épocas espaçadas em 10 anos, o autor traça interessantes polígonos que demonstram a variação da área desmatada, de aumento do uso urbano, agropastoril e do uso da queimada como instrumento de limpeza do solo. Foram realizadas etapas de campo para confirmar a interpretação original e calibragem do processo de classificação das imagens, de área de quase 10 mil km² coberta por 3 cenas de satélite com manipulação das bandas multiespectrais.

SUMÁRIO

1. Mapeamento de Perigo a Movimentos Gravitacionais de Massa no Município de Santo Amaro da Imperatriz, Santa Catarina, Brasil

Natural Disaster Hazard Assessment (Gravitational mass movement) in Santo Amaro da Imperatriz municipality, Santa Catarina, Brazil

Rafael Silva Ribeiro, Victor Augusto Hilquias Silva Alves, Thiago Dutra dos Santos 1

2. A Qualidade da Água Subterrânea com Ênfase na Toxicidade dos Radionuclídeos na Região da Província Uranífera de Lagoa Real, Bahia, Brasil

Groundwater quality with emphasis in radionuclide toxicity in the Uraniferous Province of Lagoa Real, Bahia State, Brazil

Aline da Costa Nogueira 8

3. Considerações Preliminares do Atlas de Movimentos Gravitacionais de Massa do Estado de Santa Catarina, Brasil

Preliminary considerations of the Atlas of Landslides of Santa Catarina's State, Brazil

Angela da Silva Bellettini, Carlos Augusto Brasil Peixoto, Débora Lamberty, Diogo Rodrigues A. da Silva, Renato R. Mendonça, Sabrina Deconti Bruski 15

4. O Estudo de Uso e Cobertura do Solo para o Baixio da Boa Vista: Municípios de Xique-Xique e Itaguaçu da Bahia, Bahia, Brasil

Land Use and Soil Cover Study in the Baixio da Boa Vista Region, Municipalities of Xique-Xique and Itaguaçu da Bahia, Bahia, Brazil

Alberto Franco Lacerda 24

Informe Técnico-Científico de Prevenção de Desastres e Ordenamento Territorial

Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial | Departamento de Gestão Territorial

V. 2, N. 1 Rio de Janeiro, março 2021

Mapeamento de Perigo a Movimentos Gravitacionais de Massa no Município de Santo Amaro da Imperatriz, Santa Catarina, Brasil

*Natural Disaster Hazard Assessment (Gravitational mass movement) in
Santo Amaro da Imperatriz municipality, Santa Catarina, Brazil*Rafael Silva Ribeiro (rafael.silva@cprm.gov.br)¹Victor Augusto Hilquias Silva Alves (victor.alves@cprm.gov.br)¹Thiago Dutra dos Santos (thiago.santos@cprm.gov.br)¹¹ Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Escritório Rio de Janeiro

Abstract

The GIDES Project (2013-2017) was an international cooperation project between Brazil's and Japan's government to strengthen the national strategy for integrated risk management in natural disasters. The Geological Survey of Brazil was responsible for developing the Hazard and Risk Mapping Manual concerning Mass Gravitational Movements. This article presents the hazard assessment technique applied at Santo Amaro da Imperatriz municipality, in Santa Catarina state. The assess resulted in 207 areas, classified from very high to low Hazard degrees. Slope failure process was considered the most representative. Prone areas are located at mountainous and high and low hills geomorphological domains. The municipality has about 3% of its territory minimally exposed to trigger sites or impact areas of these processes. Very high to high hazard zones corresponds to 92% of the total. About 28% of the urban perimeter was classified as belonging to at least some hazard degree. It is worth mentioning that only the places of interest, established by public managers, were evaluated.

Keywords: Santo Amaro da Imperatriz, Hazard, Mapping

Palavras chave: Santo Amaro da Imperatriz, Perigo, Mapeamento

INTRODUÇÃO

Entre 2014 e 2017, o Serviço Geológico do Brasil – CPRM, participou do acordo de cooperação técnica internacional (ACTI) entre os governos do Brasil e Japão para o Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Riscos em Desastres Naturais. Um dos resultados do ACTI foi o Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa (MGMs), cuja metodologia foi empregada nesta pesquisa (CPRM, 2018). Os MGMs analisados foram:

- deslizamento planar;
- deslizamento rotacional;
- fluxo de detritos; e
- queda de blocos.

Dando continuidade à pesquisa, o SGB-CPRM realizou cinco mapeamentos em Santa Catarina. Um deles foi em Santo Amaro da Imperatriz, cujos resultados são apresentados neste Informe Técnico.

METODOLOGIA

A metodologia possui quatro etapas (Figura 1).

A primeira etapa refere-se à coleta de todo o plano de informação disponível do município. Os planos de informações correspondem a subsídios espaciais que representem aspectos morfológicos do relevo (ortofoto, imagens, modelos digitais), aspectos demográficos (socio-econômicos, tipo de ocupação, malha urbana, malha de drenagem, situação latifundiária) e aspectos temáticos (banco de dados de ocorrências de desastres, cartas suscetibilidade, de risco, entre outros).

A segunda consiste em identificar os locais de interesse do município (p.ex.: vetores de crescimento, comunidades em risco, etc.), com os gestores públicos e definir a(s) área(s) de estudo.

A terceira etapa consiste na análise de perigo realizada no escritório, por meio da aplicação de critérios topográficos obtidos pelo estudo estatístico de

movimentos gravitacionais de massa ocorridos no Brasil. Esses critérios representam uma referência quantitativa empregada para identificação das condicionantes topográficas favoráveis à geração dos processos e a estimativa do atingimento do material mobilizado (CPRM, 2018).



FIGURA 1 - Fluxograma para mapeamento de perigo. Fonte: Elaborado pelos autores.

Na quarta etapa é feita a qualificação do terreno, em campo, com a caracterização e classificação em um dos quatro graus de perigo (baixo, médio, alto e muito alto) descritos em Pimentel *et al.* (2020). Para isso, são caracterizados os indícios de instabilidade específicos para cada movimento gravitacional de massa e utilizados quadros de qualificação específicos por processo, cujos detalhes encontram-se em CPRM (2018).

DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Santo Amaro da Imperatriz está situado na região leste do estado de Santa Catarina. Conforme o IBGE (2018), possui aproximadamente 23.000 habitantes, 344 km² e dista 33 km da capital catarinense (Figura 2).

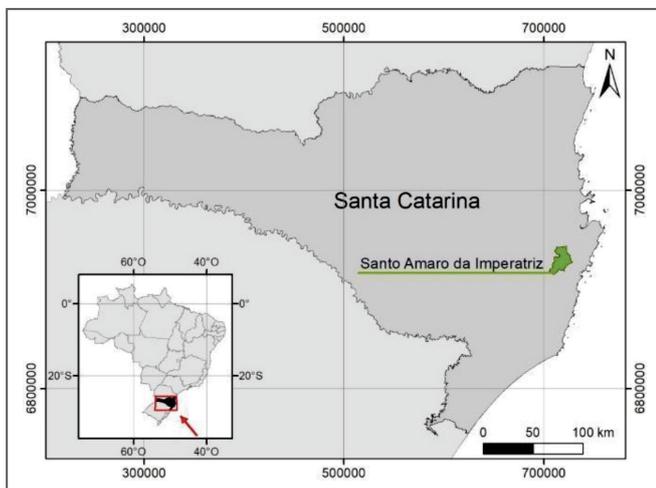


FIGURA 2 - Localização do município de Santo Amaro da Imperatriz no estado de Santa Catarina. Fonte: Elaborada pelos autores

Em reunião inicial, a Defesa Civil Municipal de Santo Amaro da Imperatriz definiu os 28 locais de interesse ao mapeamento situados na área urbana da sede e seu entorno (Figura 3). Tomando como base os locais de interesse, a expansão urbana do município e as áreas propensas a movimentos gravitacionais de massa, os geólogos estabeleceram 12 áreas de estudo para a análise de perigo. Entretanto, vale ressaltar que existem outras áreas que carecem de avaliação, mas não foram indicadas pelos representantes da Defesa Civil Municipal (Figura 3).

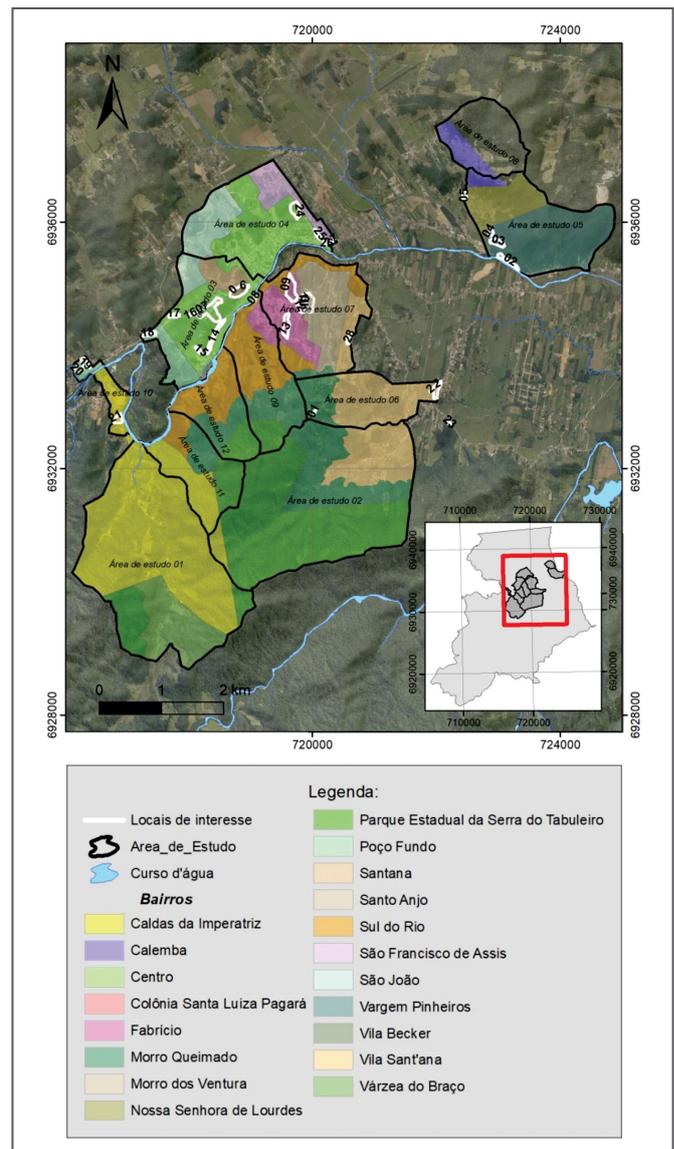


FIGURA 3 - Locais de interesse, áreas de estudo e bairros de Santo Amaro da Imperatriz. Fonte: Elaborada pelos autores.

Conforme o mapa geológico da região, elaborada por Zanini *et al.* (1997), a área de estudo é formada por depósitos aluvionares e colúvio-aluvionares dos rios do Matias e Cubatão (onde se encontra grande parte do perímetro urbano), Granodiorito Alto Varginha, Granito Serra do Tabuleiro, Tonalito Forquilhas e Complexo Águas Mornas.

RESULTADOS

O mapeamento resultou em 207 setores de perigo a movimentos gravitacionais de massa, distribuídos segundo os processos mostrados no Quadro 1.

QUADRO 1: Número de setores de perigo por processo geológico.

Processo	Número de setores
Deslizamento planar	171
Fluxo de detritos	09
Queda de blocos	27

De maneira geral, os setores de deslizamentos planares estão concentrados nas encostas de domínios serranos e morros altos e baixos dos bairros Vargem Pinheiros e Nossa Senhora de Lourdes (Figura 4); encostas a oeste dos bairros Centro e Poço Fundo e vertentes de morros baixos e altos situados na porção centro-norte da área de estudo (Figura 5). Também foram verificadas situações em que taludes de corte, realizados de maneira inadequada expõem determinados locais ao perigo de ocorrência de deslizamentos planares (Figura 6).

Os fluxos de detritos estão relacionados a drenagens com direções SE/NW e SW/NE que, muitas vezes, possuem em seus canais depósitos de blocos rochosos, às vezes envoltos em material de granulometria mais fina. Isto pode indicar alta propensão a este processo, em episódios de chuvas intensas e/ou duradouras (Figura 7).

Os cursos d'água, afluentes do Rio Cubatão, possuem cabeceiras com acentuada declividade e estão nos bairros Caldas da Imperatriz, Várzea do Braço, Morro Queimado e Parque Estadual da Serra do Tabuleiro (Figura 8).

Em certas encostas não vegetadas de Santo Amaro da Imperatriz há grandes campos de blocos rochosos constituídos por granitoides, como os identificados nos bairros Sul do Rio e Fabrício. No caso da encosta mostrada na Figura 9, segundo a moradora, há blocos rochosos que podem se movimentar a qualquer momento, pois estão apoiados apenas sobre a superfície, o que gera apreensão entre os residentes.

Além dos campos de blocos, há os que fazem parte de colúvio que estão sendo expostos em razão de taludes de corte. É o caso do bloco mostrado na Figura 10, situado em encosta parcialmente ocupada no centro da cidade.



FIGURA 4 - Serra situada à nordeste da área de estudo. Fonte: arquivo do projeto.



FIGURA 5 - Trecho de anfiteatro no bairro Santana. Fonte: arquivo do projeto.



FIGURA 6 - Taludes de corte no bairro Caldas da Imperatriz. Fonte: arquivo do projeto.



FIGURA 7 - Depósito com blocos rochosos na lateral de canal. Fonte: arquivo do projeto.

De acordo com o mapeamento de perigo, Santo Amaro da Imperatriz apresenta cerca de 3% do seu território com graus de perigo a MGMs (Figura 11), isto é, minimamente exposto a locais de geração ou atingimento dos processos de deslizamentos, fluxos de detritos e queda de blocos.

Vale notar que nem todo o território municipal foi avaliado. Pela metodologia (CPRM, 2018), a análise combinada entre a identificação dos critérios topográficos favoráveis à geração destes processos e a falta de evidência de campo, comprovando a instabilidade do terreno, deve ser classificado como perigo médio, isto é, as áreas do perímetro urbano se encontram expostas a características naturais do meio físico, propensas a deflagração de MGM. Setores de perigo muito alto a alto correspondem a 92% do total.



FIGURA 8 - Visão do domínio serrano com bacias sujeitas a fluxos de detritos. Fonte: arquivo do projeto.

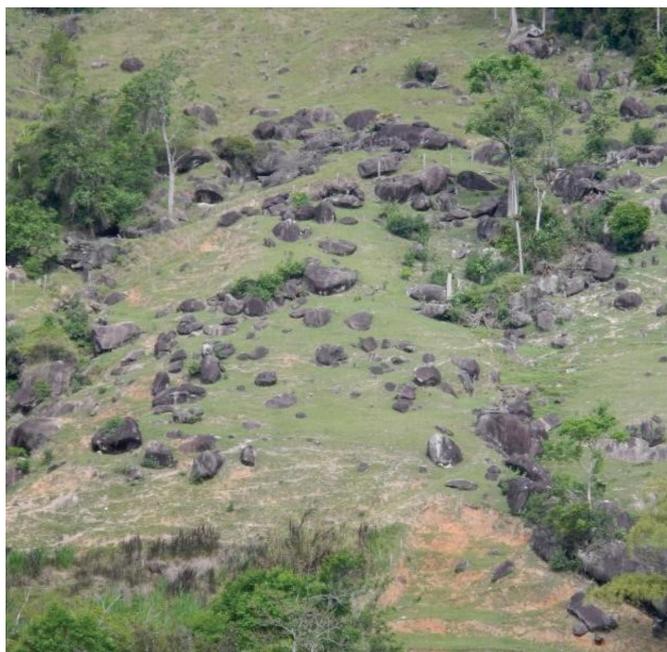


FIGURA 9 - Campo de blocos no bairro Sul do Rio. Fonte: arquivo do projeto



FIGURA 10 - Bloco rochoso de colúvio parcialmente exposto. Fonte: arquivo do projeto.

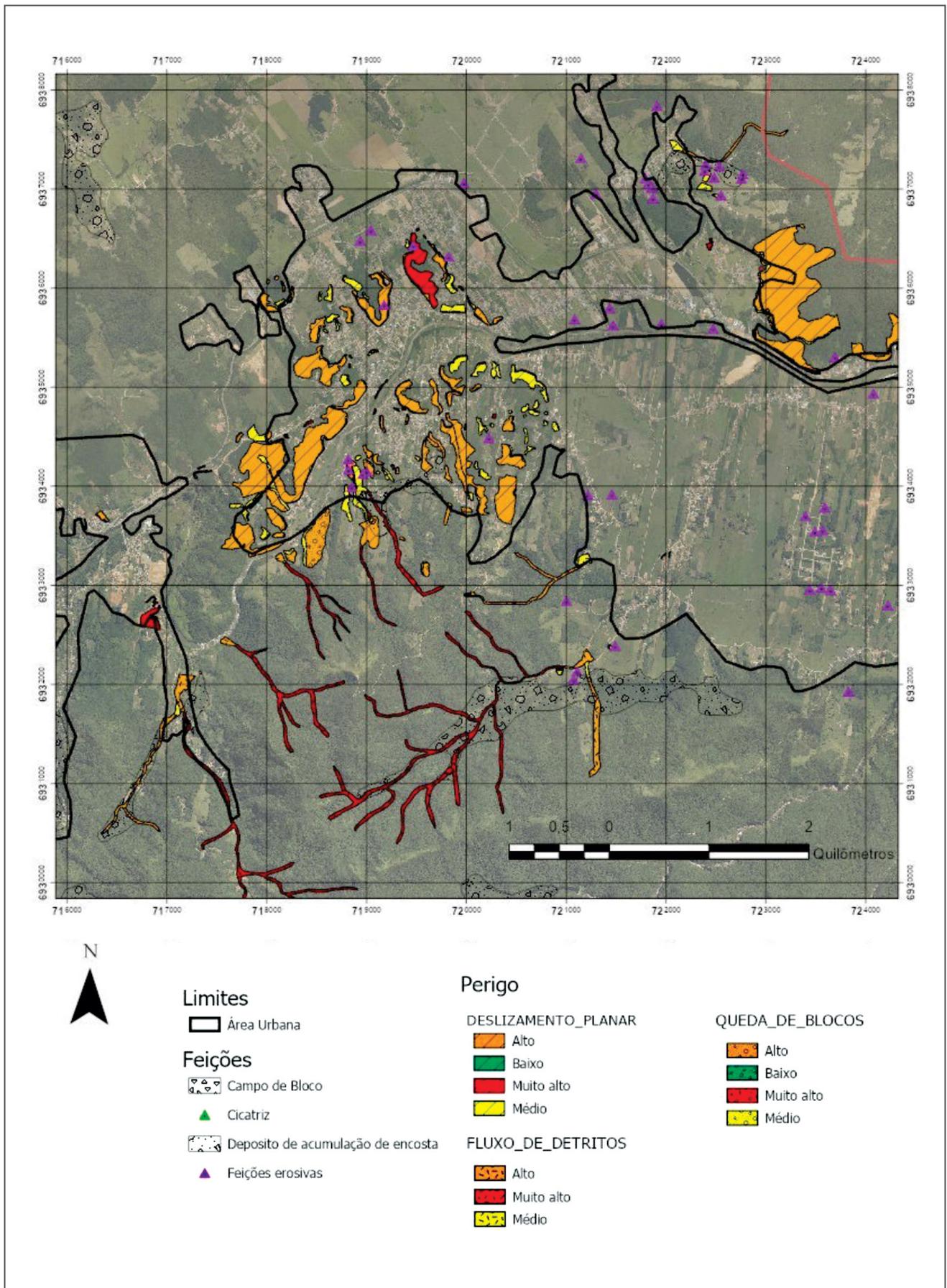


FIGURA 11 - Localização dos setores de perigo em Santo Amaro da Imperatriz. Fonte: Elaborado pelos autores.

Isto indica que a grande maioria das encostas apresentam algum indício de instabilidade expostas no terreno (Figura 12). Cerca de 28% do perímetro foi classificado como pertencente a pelo menos algum grau de perigo. A Tabela 1 mostra a síntese dos graus de perigo para cada um dos processos analisados e a distribuição nas áreas municipal e urbana. De modo geral, deslizamento planar

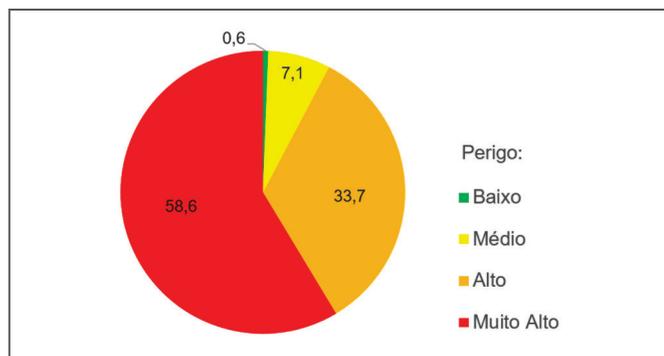


FIGURA 12 - Proporção da distribuição dos setores de perigo no perímetro urbano. Fonte: elaborada pelos autores

é o processo que mais afeta o município. Corresponde a 26% do perímetro urbano com potencial para gerar este processo, sendo 15,52% referente à classe de perigo muito alto e 8,99% ao perigo alto. É importante ressaltar que mesmo sendo em pouca área relativa, 1,17 km² para fluxo de detritos e 0,21 km² para queda de bloco, tais processos têm enorme poder destrutivo e merecem atenção das autoridades.

COMENTÁRIOS FINAIS

As regiões nordeste e centro-sul da área de estudo são dominadas por serras. Suas encostas íngremes, em grande parte, possuem as condições necessárias para a deflagração de deslizamentos planares e determinadas drenagens apresentam-se propensas a fluxos de detritos. Essas regiões, até o momento, ainda são pouco ocupadas (o que é influenciado pela presença do Parque Estadual da Serra do Tabuleiro) e devem continuar desta maneira, evitando assim futuros problemas para o município.

Em encostas não vegetadas, foram verificados campos de blocos rochosos que caracterizam áreas de perigo. Portanto, qualquer tipo de intervenção urbana deve ser feita de maneira cautelosa e com respaldo técnico.

É importante ressaltar que as porções do território municipal que não foram englobadas na área de estudo também podem apresentar áreas de perigo, apesar de não terem sido consideradas áreas de interesse pelos representantes do município. Nos setores de perigo aqui delimitados torna-se imperiosa a constante fiscalização e monitoramento por parte das instituições responsáveis pelo tema.

Por fim, acrescenta-se a necessidade da revisão constante deste trabalho, uma vez que, com a expansão municipal, podem surgir novas áreas vulneráveis ao longo do tempo. Além disso, o grau de perigo não é estático, ou seja, pode se modificar em função da dinâmica do meio físico.

TABELA 1 - Graus de perigo por processo e distribuição na área do município e perímetro urbano.

Grau de Perigo	Processo	Área (km ²)	Área do município (%)	Área urbana (%)
Baixo	Deslizamento planar	0,04	0,01	0,14
	Fluxo de detritos	0,00	0,00	0,00
	Queda de blocos	0,02	0,00	0,02
Médio	Deslizamento planar	0,61	0,18	1,79
	Fluxo de detritos	0,03	0,01	0,10
	Queda de blocos	0,06	0,02	0,12
Alto	Deslizamento planar	3,35	0,97	8,99
	Fluxo de detritos	0,25	0,07	0,51
	Queda de blocos	0,12	0,03	0,06
Muito Alto	Deslizamento planar	4,88	1,42	15,52
	Fluxo de detritos	0,73	0,21	1,07
	Queda de blocos	0,02	0,01	0,06
Total	Deslizamento Planar	8,88	2,58	26,43
	Fluxo de Detritos	1,01	0,29	1,68
	Queda de Blocos	0,21	0,06	0,26

REFERÊNCIAS

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Manual de mapeamento de perigo e risco a movimentos gravitacionais de massa**: Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Desastres Naturais – Projeto GIDES. Rio de Janeiro, 2018. 213 p. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/20452>. Acesso em: 18 mar. 2021.

IBGE. **IBGE Cidades**: Santo Amaro da Imperatriz. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/santo-amaro-da-imperatriz/panorama>. Acesso em: 5 nov. 2018.

PIMENTEL, J.; DUTRA, T.; RIBEIRO, R. S.; PFALTZGRAFF, P. A. dos S.; BRENNY, M. E. R.; PEIXOTO, D.; SILVA, D. R. da; IWANAMI, H.; NISHIMURA, T. Risk assessment and hazard mapping technique in the Project for Strengthening National Strategy of Integrated Natural Disaster Risk Management. **International Journal of Erosion Control Engineering**, v. 13, n. 1, p. 35-47, 2020. DOI: <https://doi.org/10.13101/ijece.13.35>

ZANINI, L. F. P.; BRANCO, P. de M.; CAMOZZATO, E.; RAMGRAB, G. E. (org). **Florianópolis (Folha SG.22-Z-D-V) e Lagoa (Folha SG.22-Z-D-VI)**: estado de Santa Catarina. Brasília: CPRM, 1997. 252 p. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/8736>. Acesso em: 18 mar. 2021.

Informe Técnico-Científico de Prevenção de Desastres e Ordenamento Territorial

Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial | Departamento de Gestão Territorial

V. 2, N. 1 Rio de Janeiro, março 2021

A Qualidade da Água Subterrânea com Ênfase na Toxicidade dos Radionuclídeos na Região da Província Uranífera de Lagoa Real, Bahia, Brasil

Groundwater quality with emphasis in radionuclide toxicity in the Uraniferous Province of Lagoa Real, Bahia State, Brazil

Aline da Costa Nogueira (aline.nogueira@cprm.gov.br)¹¹ Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Superintendência de Salvador

Abstract

Chemical elements, even if they occur naturally in the environment, can produce adverse health effects when ingested in high concentrations. The area is located in the Uraniferous Province of Lagoa Real, important uranium mineralizations occur, and for this reason, water containing this element and its daughter nuclides are expected. During the field stage in Caetité and Lagoa Real municipalities, 22 groundwater wells were sampled. For the uranium results, the wells represented by acronyms AC-14 has a concentration of 96 μL and the maximum value allowed by legislation is 30 μL . For radio-226, the AC-10 sample was measured 1.03 Bq/L, exceeds the limit established by law for water potability. For radio-228, mean concentrations of 0.91 Bq/L, and the maximum value detected in the sample AC-08 with 2.92Bq/L, being above the limit in all wells sampled. And finally, for radon, as an average concentration of 184.5 kBq/m³ is above that recommended by the World Health Organization, being the well AC-08 with values higher than the RAD-07 meter that is 1187.2 kBq/m³. The radionuclides studied are potentially harmful to human health, mainly because they are carcinogenic.

Keywords: Groundwater, Radioisotopes, Radon, Toxicity

Palavras chave: Água subterrânea, Isótopos de Rádio, Radônio, Toxicidade.

INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas denotam variadas características físico-químicas que são associadas às condições de dissolução das rochas e de circulação em subsuperfície. No substrato geológico podem ocorrer rochas com minerais radioativos em sua composição e, em contato com a água subterrânea, são mobilizados e podem contaminar aquíferos com radionuclídeos, ou seja, nuclídeos que emitem radiação.

Com o contínuo uso da água proveniente do substrato como fonte de abastecimento para suprir as necessidades humanas, são imprescindíveis as pesquisas que informem tanto a quantidade como a qualidade destas águas para consumo. Em vias gerais, o objetivo desta pesquisa é a avaliação da qualidade das águas subterrâneas através da análise dos elementos urânio, rádio e radônio em uma área inserida na Província Uranífera de Lagoa Real. Estes elementos são potencialmente prejudiciais à saúde

humana e, ao entrar em contato com o organismo através da ingestão de água contaminada, podem desenvolver alguns tipos de câncer devido às formas absorção e toxicidades relacionadas.

ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONAIS

A área está localizada no centro-sul do Estado da Bahia, nos municípios de Lagoa Real e Caetité. O Complexo Lagoa Real situa-se na porção mais a norte do Orógeno Araçuaí, cujos limites foram recentemente redefinidos baseados nos trabalhos de Cruz *et al.* (2007). Este local é marcado por um conjunto de zonas de cisalhamento a partir da interação entre duas unidades tectônicas: o Aulacógeno do Paramirim e o Orógeno Araçuaí (Figura 1). O seu substrato é constituído por gnaisses, migmatitos e sequências vulcanossedimentares de idade arqueana-paleoproterozoica (BASTOS-LEAL *et al.*, 1997). Costa *et al.* (1985) elucidam ainda que o embasamento

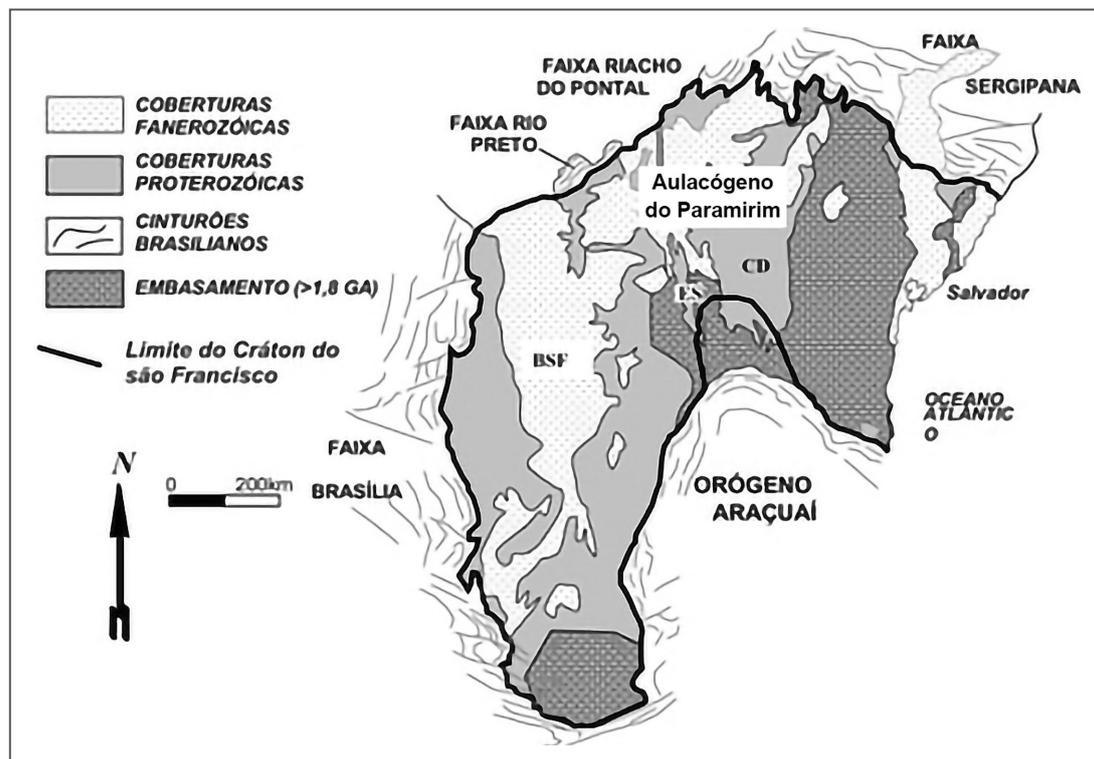


FIGURA 1 - Compartimentos geológicos regionais e suas interações. Fonte: modificado de Cruz *et al.* (2007).

referido como Complexo Metamórfico-Migmatítico, é composto por granodioritos e tonalitos sendo estes predominantes em relação a dioritos e granitos.

A exploração de águas subterrâneas na região está associada a sistemas de fraturamentos formados a partir de múltiplas fases de deformação superimpostas nas rochas durante a evolução do Aulacógeno Paramirim, no Neoproterozoico (CRUZ *et al.*, 2007). As estruturas tectônicas regionais também estão associadas a processos deformacionais dúcteis que produziram zonas de cisalhamento e sistemas de falhamentos regionais, que em profundidade facilitam a mobilidade e fluxo dos radioisótopos através da interação da água com minerais radioativos presentes nas rochas da região.

METODOLOGIA

A etapa de campo ocorreu durante a estação seca, onde foram definidos 22 pontos de coleta, baseada nos poços de água subterrânea implantados pela prefeitura local e por particulares (Figura 2). Os parâmetros físico-químicos como temperatura, salinidade, condutividade, pH, oxigênio dissolvido (OD) e sólidos totais dissolvidos (STD) foram analisados *in situ* através da sonda multiparâmetros *Horiba U52-G*. As amostras que seguiram para análise laboratorial foram filtradas e acondicionadas em frascos específicos para obter resultados fidedignos. Para análise dos cátions foram adicionadas duas gotas de ácido clorídrico, com a finalidade de preservação

destes elementos. Para resultados dos isótopos instáveis ^{226}Ra e ^{228}Ra foi utilizada espectrometria gama com detector HPGe (*High Purity Germanium Detector*). Para determinação do ^{222}Rn foi utilizado o equipamento Rad-7 da *Durridge Inc*, que realizou as leituras durante a etapa de campo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises dos parâmetros físico-químicos foram realizadas durante o período da coleta. Para condutividade elétrica apresentam valores médios de 1094,59 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mediana de 967,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sendo a maior medida no poço AC-20 com 3340,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Para STD os valores de média e mediana são respectivamente 701,36 e 620,00 mg/L. No poço AC-20 foi detectado o valor máximo de 2140,00 mg/L. O pH é classificado como neutro pois marca, em média, 7,07 até no máximo de 7,68. O parâmetro turbidez tem sua mediana marcando 0,0 NTU, já que em mais de 85% dos poços o valor medido foi zero. No entanto, no poço AC-14 foi medido o valor de 37,60 NTU. E por fim, para o OD os valores são, em média, 5,37 mg/L e sua mediana 5,13 mg/L. No poço AC-14 foi medido o valor máximo de 11,46 mg/L, sendo esse valor anômalo explicado pelo bombeamento do poço durante a amostragem. Em relação ao padrão de potabilidade das águas subterrâneas, pela Portaria da Consolidação nº 5 de 28 de setembro do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017), indica que para STD o valor máximo permitido é

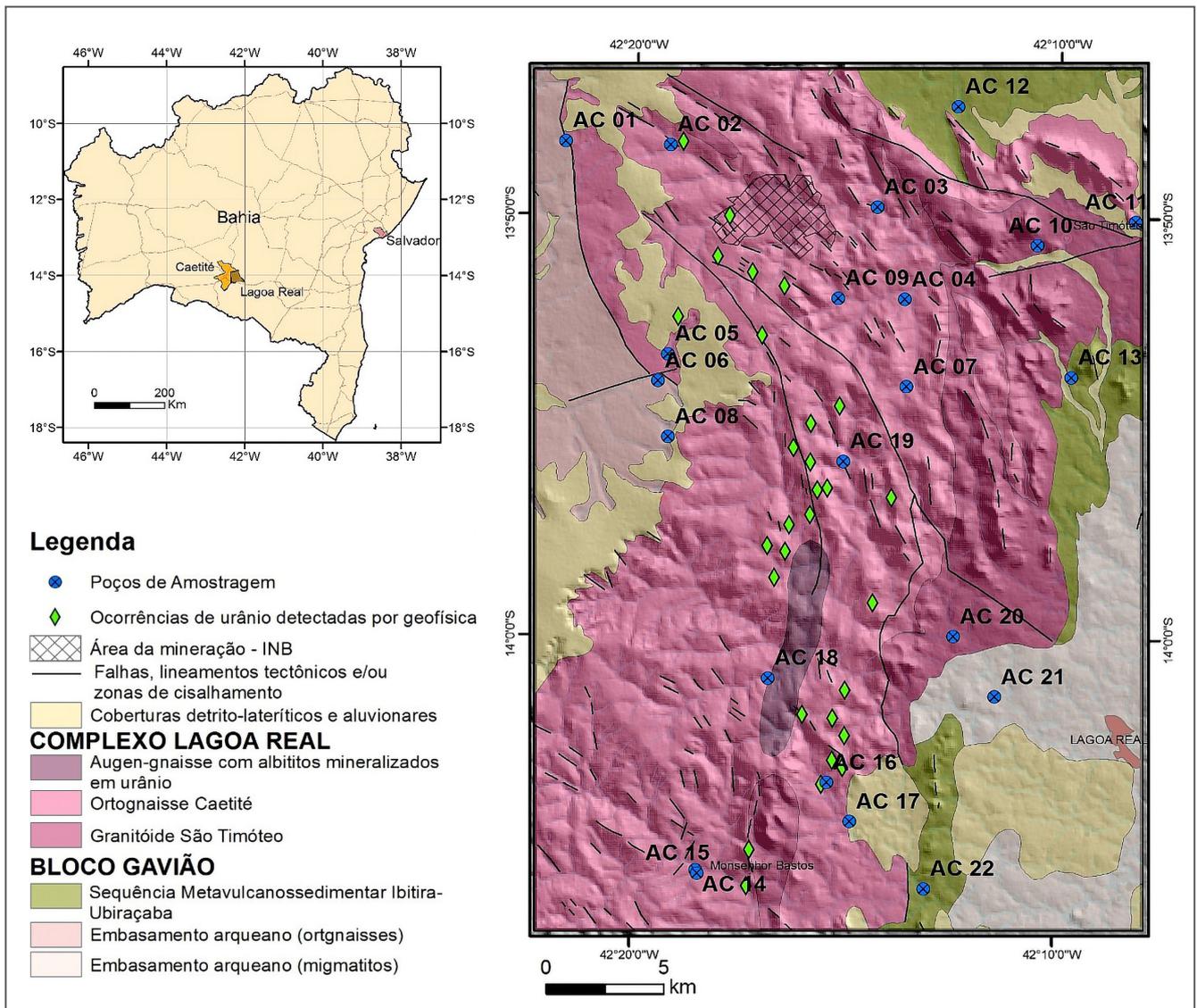


FIGURA 2 - Mapa Geológico da área com indicação dos poços amostrados e as anomalias de urânio. Fonte: SOUZA *et al.* (2003).

de 1000 mg/L e é ultrapassado nos poços AC-11, AC-15, AC-20, AC-21 e AC-22 e para Turbidez o VMP é de 5 UT, sendo acima do limite no poço AC-04 e AC-14. Na tabela 1 encontram-se os valores dos parâmetros físico-químicos com os resultados dos radionuclídeos.

Toxicidade dos elementos químicos urânio, rádio e radônio.

Urânio

O comportamento geoquímico do urânio na água subterrânea vai depender de alguns fatores que afetam a sua distribuição em águas naturais, sendo eles: teor de urânio na rocha matriz, tempo de residência do urânio no ambiente, variação climática, pH e presença de matéria orgânica (BONOTTO; SILVEIRA, 2006). O urânio ocorre na natureza, em maior constância, nos estados de valência de 4+ e 6+, e a presença da matéria

orgânica produz uma relação importante nas reações de adsorção de urânio. Em condições oxidantes U^{6+} forma o íon uranila (UO_2^{2+}) que é altamente solúvel e forma complexos estáveis com os ânions comuns dissolvidos em águas subterrâneas. Em condições ácidas, os principais complexos de uranila são formados com o fosfato e em condições alcalinas são formados com os carbonatos.

Pela Resolução do CONAMA nº 396 de 2008 (BRASIL, 2008), o limite em água subterrânea é de 0,015 mg/L ou 15 μ /L e pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914/2011 (BRASIL, 2011) e pelo WHO (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2017) é 0,03 mg/L ou 30 μ /L. Como estes expressam os valores mais recentes na comunidade científica, foi adotado como limítrofe para as amostras analisadas.

Na área foi detectado um poço acima do limite da legislação que corresponde ao ponto AC-14. Neste foi medido o valor de 96 μ /L e está instalado na comunidade

TABELA 1: Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos e dos radionuclídeos.

Amostras	Latitude	Longitude	CE (µS/cm)	pH	Turbidez (NTU)	STD (mg/L)	OD (mg/L)	U * (µg/L)	²²² Rn (kBq/m ³)	²²⁶ Ra (Bq/L)	²²⁸ Ra (Bq/L)
AC - 01	784848	8472425	744	6,90	0,0	480	6,90	< 10	389,2	0,71	0,86
AC - 02	789857	8472417	667	6,90	0,0	430	5,17	< 10	222,6	0,44	1,01
AC - 03	798621	8469357	1430	6,88	0,0	910	4,11	< 10	140,7	0,28	0,94
AC - 04	799883	8464984	611	7,26	9,7	390	7,60	< 10	64,7	0,70	0,59
AC - 05	789697	8463159	314	6,30	0,0	200	5,08	< 10	162,0	0,45	0,77
AC - 06	789175	8461853	76	6,20	0,0	50	6,10	< 10	111,6	0,27	1,04
AC - 07	799817	8461784	446	6,90	0,0	290	3,10	< 10	32,1	0,60	0,32
AC - 08	788684	8458925	173	6,56	0,0	110	4,00	< 10	1187,2	0,96	2,92
AC - 09	796882	8465417	805	7,50	0,0	520	5,50	12	90,5	0,43	0,71
AC - 10	805589	8467366	1090	7,13	0,0	700	3,67	< 10	91,1	1,03	2,46
AC - 11	810566	8468617	1870	7,68	0,0	1190	7,56	< 10	57,4	0,18	0,21
AC - 12	801598	8474322	1240	7,20	0,0	800	5,26	< 10	62,7	0,27	0,83
AC - 13	806910	8464348	233	6,80	0,0	150	4,16	< 10	101,5	0,76	0,89
AC - 14	790926	8440291	1330	7,39	37,6	850	11,46	96	213,2	0,81	0,58
AC - 15	790966	8440209	1950	7,15	0,0	1250	4,41	< 10	105,4	0,39	0,61
AC - 16	796185	8444126	1070	7,18	0,0	680	5,36	< 10	103,3	0,74	0,78
AC - 17	797286	8442460	939	7,45	0,0	600	4,95	< 10	83,9	0,47	0,58
AC - 18	793853	8448800	768	7,12	0,0	490	7,84	< 10	108,6	0,23	0,54
AC - 19	797032	8457726	995	6,99	3,1	640	6,15	< 10	85,0	0,48	1,62
AC - 20	801728	8450628	3340	7,33	0,0	2140	4,15	< 10	239,6	0,46	0,69
AC - 21	803443	8448002	1870	7,54	0,0	1200	3,63	29	222,1	0,49	0,38
AC - 22	802250	8439352	2120	7,09	0,0	1360	1,96	11	185,2	0,38	0,59

(*U) apresenta valores abaixo do limite de detecção do laboratório, que é 10 µg/L.

Fonte: Elaborada pela autora.

de Monsenhor Bastos no município de Lagoa Real, e atende a população com água para serviços domésticos. O poço AC-21, na localidade de Canabrava do mesmo município, detectou-se o valor de 29 µ/L, ou seja, aproximado do limite aceitável. É um poço em área particular, que atendia uma pequena plantação e estava lacrado durante a última visita de campo, em razão de medidas realizadas pela prefeitura que constatou altos teores de urânio.

Segundo Silva (2011), a absorção do urânio a partir do trato gastrointestinal depende de fatores como a solubilidade do composto deste elemento. Os rins são considerados o principal órgão alvo da toxicidade química do urânio em seres humanos, sendo o esqueleto o principal local de acumulação dentro do organismo. Num estudo realizado por Kurtzio *et al.* (2005) foi comprovado que a ingestão do urânio através da água pode alterar de forma significativa alguns indicadores bioquímicos de modelação óssea em seres humanos, o que caracteriza

a toxicidade do urânio no osso. Este elemento é liberado da superfície óssea de forma mais lenta que o cálcio. O acúmulo de urânio no osso é reflexo de uma exposição em longo prazo, enquanto que na urina reflete exposição recente. Destaca-se também o estudo de Prado (2007), onde foram analisados dentes humanos como bioindicadores da contaminação através da ingestão da água contaminada, possuindo concentrações de U cerca de 100 vezes a concentração média mundial. Já existem alguns métodos que podem ser aplicados com a finalidade de remover grande parte do urânio da água como a filtração (ou coagulação), osmose reversa e troca aniônica que pode chegar a remover 100% do urânio da água (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2011).

Rádio

As concentrações naturais de rádio em águas subterâneas estão relacionadas ao tipo de rocha do aquífero, condições físico-químicas do meio e tempo de contato

(BONOTTO; SILVEIRA, 2006). Quimicamente esses radioisótopos reagem de forma semelhante a outros cátions alcalino-terrosos tais como cálcio e estrôncio e é mais semelhante a bário. A solubilidade do elemento não varia entre os isótopos, sendo controlada pela adsorção superficial, bem como reações de dissolução e precipitação. Segundo Vinson *et al.* (2009) a mobilidade do rádio ou a eficácia da adsorção podem variar em função dos parâmetros químicos incluindo o pH, salinidade, ambientes redutores, supersaturação de barita, redução microbiana de sulfato afetando a estabilidade da barita e redução de óxido de ferro microbiano. Também ocorre uma forte afinidade por partículas sólidas, como argilas e óxidos hidratados. Os óxidos hidratados de Fe^{3+} e Mn^{4+} possuem alta capacidade de sorção para íons de metal bivalente (HANSLIK; MANSFELD, 1990).

Na área apresenta, em média, a concentração de 0,52 Bq/L e mediana de 0,47 para ^{226}Ra . Esse valor é abaixo do limite estabelecido para consumo, porém o valor máximo é de 1,03 Bq/L no poço AC-10, sendo este o único poço que ultrapassa esse limite. Já para o isótopo ^{228}Ra , com o valor médio de 0,91 Bq/L e mediana de 0,74 Bq/L, estão acima do limite de potabilidade em todos os poços amostrados; o valor máximo de 2,92 Bq/L foi obtido no poço AC-08. A Portaria do Ministério da Saúde nº 2914/2011 que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade estabelecem como níveis de triagem os valores máximos de referência de 1 Bq/L para ^{226}Ra e 0,1 Bq/L para ^{228}Ra .

Fazendo uma relação entre os dois isótopos, observa-se que o ^{228}Ra possui teores maiores na área como um todo. Isto ocorre porque, em geral, o tório é mais abundante na crosta terrestre do que o elemento urânio, sendo que a média crustal para o Th: 10 ppm e para o U: 2 a 3 ppm (PLANT *et al.*, 2012). Nos poços AC-04, AC-07, AC-14 e AC-21 há um enriquecimento relativo do ^{226}Ra em relação ao ^{228}Ra .

O rádio, que possui comportamento análogo ao cálcio no organismo, fixa-se nos ossos, e assim pode desenvolver processos carcinogênicos. Segundo Lima (1996), estes ao serem ingeridos em altas concentrações poderão causar um aumento significativo nos casos de câncer de bexiga, pulmão e tórax.

Radônio

O radônio dissolvido nas águas subterrâneas pode migrar por longas distâncias através de fraturas e cavernas dependendo da velocidade do fluxo da água subterrânea. Dados de uma pesquisa internacional (UNITED NATION SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC, 2000) concluíram que, em média, 90% da dose que se atribui ao radônio na água potável é

proveniente de inalação, em vez de ingestão. Este elemento dissolvido na água pode ser liberado ao ar quando são utilizados em atividades associadas com a água aquecida ou agitada, chuveiros e descargas no banheiro. A agência americana USEPA (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1999) utiliza como limite para potabilidade de água, 300 pCi/L, ou seja, 11,1 Bq/L de radônio dissolvido. A Organização Mundial da Saúde recomenda um nível de referência para 100 kBq/m³ ou 100 Bq/L (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2009).

Na área foi detectada uma grande amplitude de resultados. A concentração em média é de 184,5 Bq/L e mediana de 107 Bq/L. No poço AC-07 foi medido 32,1 Bq/L, que é o menor valor encontrado, enquanto que no AC-08 tem o alto valor de 1187,2 Bq/L. Esses valores já ultrapassam os valores utilizados pela Organização Mundial da Saúde para potabilidade de água. O radônio está mais concentrado nos poços situados onde assinatura de tório é maior, contribuindo também à proximidade das zonas tectonizadas principais, como falhas e fraturas regionais. É o caso do ponto AC-08, que está situado nas imediações da falha que separa duas unidades litológicas importantes: o embasamento arqueano e o Complexo Lagoa Real de idade paleoproterozoica. O ^{222}Rn não forma compostos químicos e ao ser formado no retículo cristalino é facilmente removido e mobilizado por difusão através da emanção, fazendo com que os teores de ^{222}Rn sejam muito maiores que o nuclídeo-pai, ^{226}Ra .

Há estudos divulgados que o radônio e seus filhos são a segunda causa de câncer de pulmão. Segundo Corrêa *et al.* (2015) o ^{222}Rn dissolvido na água é uma fonte de exposição humana, principalmente quando o gás é liberado no interior das residências, e incorporado no corpo humano através das vias respiratórias.

Na figura 3 foi confeccionado um gráfico que demonstra a concentração dos radionuclídeos com relação aos limites para consumo humano. Os teores dos isótopos de rádio foram somados para ficar mais evidente a relação do elemento rádio com o radônio. Com isso, pode ser notado que o padrão de concentração do radônio é acompanhado pelos isótopos de rádio. O ponto AC-08 perfaz a maior concentração dos radionuclídeos, em virtude de estar localizado nas imediações da falha que limita o embasamento arqueano com o Complexo Lagoa Real, onde pode ter ocorrido uma maior interferência de fluidos que dão origem a mineralização, além de estar numa área de movimentação tectônica, no qual imprime suas características na água subterrânea local. É importante salientar que para o parâmetro ^{226}Ra todos os poços estão acima do limite para consumo humano.

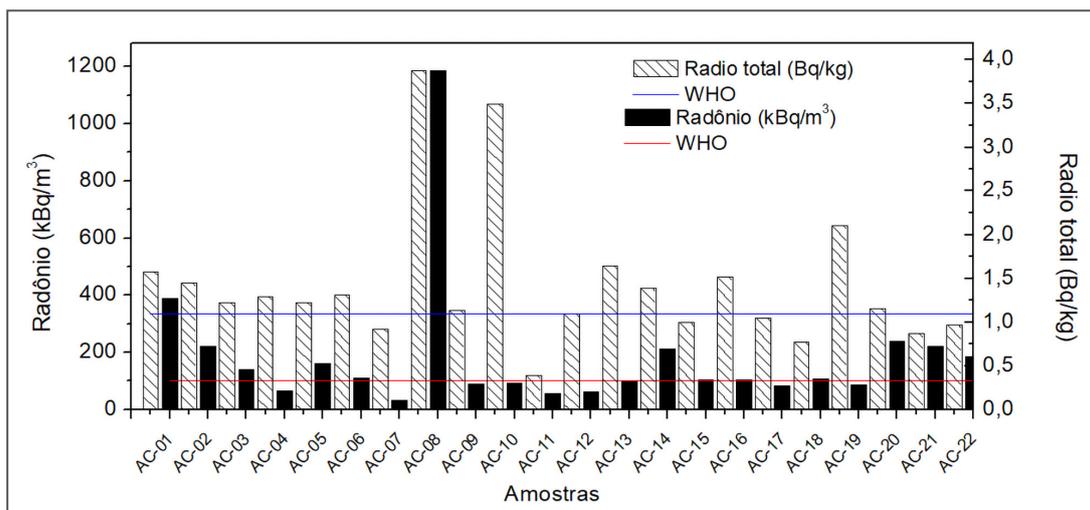


FIGURA 3 - Resultados agrupados de radônio (Bq/L) e rádio total (Bq/L) e seus respectivos limites para potabilidade de água para consumo humano. Fonte: Elaborada pela autora.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área de estudo está situada na Província Uranífera de Lagoa Real, que é uma das maiores do mundo e, por conseguinte, imprime características peculiares ao substrato cristalino local. Elementos químicos, mesmo que ocorram naturalmente no meio ambiente, podem produzir efeitos adversos à saúde imediatos quando são ingeridos em altas concentrações. Dentre os elementos radioativos analisados, o ^{228}Ra apresenta-se em concentrações maiores que o limite estabelecido pela Portaria 2914/2011 em todos os poços. Isso pode ser explicado pela concentração maior do seu progenitor, o tório, que é três vezes mais abundante na crosta terrestre do que o urânio. A mobilidade de rádio pode ser influenciada pelo pH, deslocamento da partícula alfa (*alpha recoil*) e/ou competição com outros cátions divalentes. O radônio encontra-se dissolvido nas águas subterrâneas e pode migrar por longas distâncias através de estruturas tectônicas (falhas e fraturas) e, dependendo da velocidade do fluxo da água subterrânea, pelo processo de difusão diretamente do mineral. Isto ocorre logo após o decaimento do seu elemento-pai e faz com que os teores de ^{222}Rn sejam muito maiores que o ^{226}Ra . As concentrações de radônio variaram amplamente, sendo que registros acima do limite estabelecido pela Organização Mundial da Saúde foram detectados em quatorze dos vinte e dois poços, na sua maioria, situados nas proximidades de falhas e fraturas regionais.

Existem métodos que podem ser aplicados com a finalidade de remover grande parte do urânio da água como a filtração (ou coagulação), osmose reversa e troca aniônica que pode chegar a remover 100% do urânio da água. A utilização de filtros com troca iônica combinados com a coagulação é eficaz para mitigar a exposição do rádio, e

pode ser aplicada como forma de diminuição destes em água, em virtude do rádio possuir alto teor de adsorção com partículas de argila e óxidos hidratados. Na área ocorre uma grande amplitude de concentração de radônio, sendo acima do limite em quatorze poços. No entanto, devido sua meia-vida curta de 3,8 dias, ações mitigatórias são simples e não envolvem altos custos, como por exemplo, a não utilização da água imediatamente e sua disposição em caixas d'água externas para o gás ser dissipado na atmosfera, o que ocorre com maior eficiência se a água for borrifada ou aspergida ao entrar no reservatório.

REFERÊNCIAS

- BASTOS-LEAL, L. R.; TEIXEIRA, W.; CUNHA, J. C.; MACAMBIRA, M. J. B. Crustal evolution of Gavião block of the São Francisco Craton: a geochronological study with U-Pb, Pb-Pb, Sm-Nd, Rb-Sr and K-Ar. *In*: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 2., 1997, Campos do Jordão. **Extended abstracts**. Campos do Jordão: Universidade de São Paulo, 1997. p. 161-162.
- BONOTTO, D. M.; SILVEIRA, E. G. **Geoquímica do urânio aplicada a águas minerais**. São Paulo: Editora UNESP, 2006. 160 p.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017**. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. 2017. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html. Acesso em: 18 mar. 2021.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. 2011. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em: 18 mar. 2021.

- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 396/2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 66, p. 64-68, 7 abr. 2008.
- CORRÊA, J. N.; PASCHUK, S. A.; KAPPKE, J.; DENYAK, V.; SCHELIN, H. R.; DEL CLARO, F.; PERNA, A. F. N.; REQUE, M.; ROCHA, Z.; SANTOS, T. O. Monitoramento da radioatividade alfa relacionada ao radônio-222 em águas de poços da região metropolitana de Curitiba (PR). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 2, p. 243-250, abr. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000124599>
- COSTA, P. H. O.; ANDRADE, A. R. F.; LOPES, G. A.; SOUZA, S. L. **Projeto Lagoa Real**: mapeamento geológico, 1:25.000. Salvador: CBPM, 1985. 12 v.
- CRUZ, S. C. P.; ALKMIM, F. F.; LEITE, JORDT-EVANGELISTA, C. M. M.; H.; CUNHA, J. C.; MATOS, E. C.; NOCE, C. M.; MARINHO, M. M. Geologia e arcabouço estrutural do Complexo Lagoa Real, Vale do Paramirim, Centro-Oeste da Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n. 4, p. 128-146, 2007. Suplemento. DOI: <https://doi.org/10.25249/0375-7536.200737S4128146>
- HANSLIK, E.; MANSFELD, A. Removal of radium of drinking water. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **The environmental behavior of radium**. Viena: IAEA, 1990. (Technical Report Series, 310).
- KURTTIO, P.; KOMULAINEN, H.; LEINO, A.; SALONEN, L.; AUVINEN, A.; SAHA, H. Bone as a possible target of chemical toxicity of natural uranium in drinking water. **Environmental Health Perspectives**, v. 113, n. 1, p. 68-72, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1289/ehp.7475>
- LIMA, R. A. **Avaliação da dose na população da região urano-fosfática do Nordeste que utiliza os recursos hídricos da região**. 178 f. 1996. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 1996. Disponível em: <http://repositorio.ipen.br/handle/123456789/10470>. Acesso em: 18 mar. 2021.
- PLANT, J. A.; VOULVOULIS, N.; RAGNARSDOTTIR, K. V. (ed.). **Pollutants, human health, and the environment: a risk based approach**. Reino Unido: John Wiley & Sons, 2012.
- PRADO, G. R. **Estudo de contaminação ambiental por urânio no município de Caetité-Ba, utilizando dentes de humanos como bioindicadores**. 2007. 182 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2007. Disponível em: <http://www.biblioteca.uesc.br/biblioteca/bdtd/200560033D.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2021.
- SILVA, L. S. **Avaliação da radioatividade natural em águas potáveis, de superfície e subterrâneas da região de Caetité, BA**. 2011. 114 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2011. Disponível em: <http://repositorio.ipen.br/handle/123456789/10065>. Acesso em: 19 mar. 2021.
- SOUZA, J. D. de; MELO, R. C. de; KOSIN, M. (coord.). **Mapa geológico do estado da Bahia**. Versão 1.1. Salvador: CPRM, 2003. Escala 1:1.000.000. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/8665>. Acesso em: 18 mar. 2021.
- UNITED NATION SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION. **Sources and effects of ionizing radiation**: UNSCEAR 2000 report to the General Assembly with scientific Annexes. New York: United Nations, 2000.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **National primary drinking water regulations: Radon-222**. Washington, D.C.: EPA, 1999.
- VINSON, D. S.; VENGOSH, A.; HIRSCHFELD, D.; DWYER, G. S. Relationships between radium and radon occurrence and hydrochemistry in fresh groundwater from fractured crystalline rocks, North Carolina (USA). **Chemical Geology**, v. 260, n. 3/4, p.159-171, Mar. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2008.10.022>
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking-water quality**: fourth edition incorporating the first addendum. 4th ed. Switzerland: WHO, 2017. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>. Acesso em: 19 mar. 2021.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Uranium in Drinking-water**: background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality. Switzerland: WHO, 2011. Disponível em: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/uranium290605.pdf. Acesso em: 19 mar. 2021.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **WHO handbook on indoor radon: a public health perspective**. Switzerland: WHO, 2009. Disponível em: https://www.who.int/ionizing_radiation/env/9789241547673/en/. Acesso em: 18 mar. 2021.

Informe Técnico-Científico de Prevenção de Desastres e Ordenamento Territorial

Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial | Departamento de Gestão Territorial

V. 2, N. 1 Rio de Janeiro, março 2021

Considerações Preliminares do Atlas de Movimentos Gravitacionais de Massa do Estado de Santa Catarina, Brasil

Preliminary considerations of the Atlas of Landslides of Santa Catarina's State, Brazil

Angela da Silva Bellettini (angela.bellettini@cprm.gov.br)¹
Carlos Augusto Brasil Peixoto (carlos.peixoto@cprm.gov.br)¹
Débora Lamberty (debora.lamberty@cprm.gov.br)¹
Diogo Rodrigues A. da Silva (diogo.rodrigues@cprm.gov.br)¹
Renato R. Mendonça (renato.mendonca@cprm.gov.br)¹
Sabrina Deconti Bruski (bruski.sabrina@gmail.com)¹

¹ Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Superintendência de Porto Alegre

Abstract

This technical report is a preliminary description of data analysis about landslides occurrence in the state of Santa Catarina, Southern Brazil. The projects Setorização de Áreas de Risco Geológico and Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações developed by the Geological Survey of Brazil and executed between 2011 and 2019 in respectively 295 and 98 cities of Santa Catarina, provided the data for this analysis. Afterwards, an inventory of slope failures was carried out using Google Earth resources. The interpretation of the data of landslides and geology, geomorphology, soil types and geomorphometric parameters showed the triggering conditions of natural and anthropically induced landslides. The results indicated that slope failure are the main typology and occur in high and very high risk areas. The risk sectors are widely distributed, even though the inventory of slope failures evidences that the most events was concentrated in Serra do Leste Catarinense and Escarpa do Serra Geral regions. The analyses of geomorphometric parameters for slope failure demonstrated that these processes occur majorly in slopes with at least 20% of slope; mainly on the north, northeast and northwest faces, and slopes with convex-divergent and concave-convergent shapes. The Atlas of Hazards of Landslides for Santa Catarina has been developed the Geological Survey of Brazil as described in this report and the preliminary results have demonstrated the main characteristics of favorable areas for the triggering of landslides.

Keywords: landslides, disasters, susceptibility, risk areas

Palavras chave: Deslizamentos, Desastres, Suscetibilidade, Áreas de Risco.

INTRODUÇÃO

O conceito de atlas, segundo IBGE (2018), é uma publicação ou livro que contém um conjunto de mapas ou cartas cartográficas com a finalidade de apoiar atividades de ensino e pesquisa. Em uma abordagem mais ampla, que vai além do objeto cartográfico e focando nas perspectivas espaciais, de onde pode-se extrair dados qualitativos ou quantitativos, o termo abrange um conjunto de informações sobre determinado tema que serve de referência para a elaboração de mais dados, de acordo com a pesquisa desenvolvida pelos usuários (IBGE, 2018).

O Serviço Geológico do Brasil tem atuado no âmbito da Lei Federal 12.608 de 2012 na geração de conhecimento geológico-geotécnico para subsidiar e auxiliar a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (BRASIL, 2012). Setorização de Risco Geológico e Cartas Municipais de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundação são os principais projetos, contabilizando 1605 municípios setorizados e 510 cartas municipais de suscetibilidade (CPRM, 2020).

A setorização de risco é realizada em escala de detalhe (no geral 1:1.000 a 1:2.000). O método adotado compreende o levantamento de dados bibliográficos e cartográficos preexistentes, bem como o resgate

de informações de eventos pretéritos. Com o auxílio institucional das defesas civis municipais, as equipes técnicas percorrem o município, principalmente a área urbana e periurbana, para identificar os setores de risco alto e muito alto a movimentos gravitacionais de massa (MGM), inundações e/ou outros processos correlatos. Como resultado obtém-se a delimitação e a caracterização de cada área de risco de grau alto ou muito alto para os diferentes processos englobados pelo projeto: deslizamentos, quedas, corridas de massa, rastejo, inundações, enxurradas e outros processos correlatos (SAMPAIO *et al.*, 2013).

As cartas municipais de suscetibilidade a MGM e inundações são realizadas, como regra, na escala 1:25.000 e contemplam a área municipal em sua totalidade. Essas cartas são o resultado da modelagem matemática com posterior validação em trabalho de campo. Delimita-se as áreas de alta, média e baixa suscetibilidade a movimentos de massa e inundações, além de indicar as bacias suscetíveis a corridas de massa e a enxurradas. Os dados são apresentados em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), integrando todos os dados obtidos em uma base de dados contínua e sintetizando os principais resultados do mapeamento em um documento cartográfico para cada município (IPT; CPRM, 2014). O atlas proposto tem por objetivo gerar um conjunto de informações sobre os MGMs ocorridos no estado de Santa Catarina, a partir da compilação de dados adquiridos por projetos e estudos executados pelo Serviço Geológico do Brasil na área de prevenção de desastres. O atlas pretende contribuir com os gestores públicos como uma ferramenta estratégica nas tomadas de decisões para a gestão e prevenção de desastres e, principalmente, no planejamento territorial e auxiliar em estudos e pesquisas científicas nas áreas da geologia de engenharia e planejamento territorial.

O presente informe apresenta os procedimentos metodológicos adotados e os resultados preliminares obtidos no desenvolvimento do *Atlas de Movimentos Gravitacionais de Massa do Estado de Santa Catarina*.

CONTEXTO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO

O estado de Santa Catarina encontra-se na Região Sul do Brasil, limitando-se a norte com o estado do Paraná, a sul com o Rio Grande do Sul, a oeste com a Argentina e a leste com o Oceano Atlântico. Como resultado da localização geográfica e de sua evolução geológica, apresenta uma geologia variada, com o embasamento cristalino, composto por rochas graníticas, metamórficas e associações de rochas metavulcânicas e metassedimentares, situado entre depósitos costeiros do litoral catarinense e a sequência deposicional sedimentar e, posteriormente, vulcânica da Bacia do Paraná (SILVA; BORTOLUZZI, 1987; WILDNER *et al.*, 2014; VIERO; SILVA, 2016).

Devido, principalmente, à geologia e aos processos de intemperismo e erosão que provocam a dissecação das diferentes litologias, é possível cartografar e agrupar quatro formas principais de relevo no estado (SILVA; BORTOLUZZI, 1987). A primeira forma tem relevo plano e apresenta altitudes ao nível do mar, situa-se no leste catarinense, são depósitos de sedimentos de idades cenozoicas, sendo denominada de Planícies Litorâneas, Costeiras ou Marinhas. A região denominada de Serra do Leste Catarinense, ou porção sul da Serra do Mar, fica situada a partir do centro, sentido ao norte do estado. Apresenta formas de relevo serrano com grandes amplitudes.

A terceira região apresenta formas de relevos derivadas da dissecação das rochas sedimentares da Bacia do Paraná, sendo caracterizadas pelo formato transicional do relevo tipo patamar denominando esta região geomorfológica de Patamares da Borda Oriental da Bacia do Paraná. A quarta forma de relevo é a que ocupa a maior extensão territorial do estado e é denominada de Planalto das Araucárias ou da Serra Geral. É uma unidade geomorfológica associada aos derrames vulcânicos do Magmatismo Serra Geral, com predomínio de formas de relevo de planaltos e planaltos dissecados (SILVA; BORTOLUZZI, 1987; GOTHE, 1993; HORN FILHO; DIEHL, 2006).

MATERIAIS E MÉTODOS

O escopo do projeto está limitado à análise dos dados de movimentos gravitacionais de massa, aqui compreendido como “movimento do solo, rocha e/ou vegetação ao longo da vertente sob a ação direta da gravidade” (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009, p. 27), correspondendo aos processos de rastejo, deslizamentos planar e rotacional ou em cunha, corridas de massa e quedas, rolamentos e tombamentos de blocos, lascas e matacões (AUGUSTO FILHO, 1992; INFANTI JR; FORNASI FILHO, 1998; CENAD, 2020).

A primeira etapa do trabalho envolveu a obtenção e organização dos dados de setorização de risco geológico e cartas de suscetibilidade a MGM e inundações. O estado de Santa Catarina está na sua totalidade contemplado pela setorização de risco geológico e noventa e oito municípios possuem a carta de suscetibilidade (Figura 1). As informações utilizadas no projeto foram coletadas e publicadas entre os anos de 2011 e 2019.

Os dados da setorização de risco dos 295 municípios catarinenses foram consolidados em um único arquivo. Para tanto, uma vez que o projeto passou por diversas atualizações quanto aos atributos considerados e à nomenclatura da tipologia de processos, foi necessária a sua padronização. Adotou-se a tabela de atributos utilizada atualmente no projeto e a nomenclatura vigente

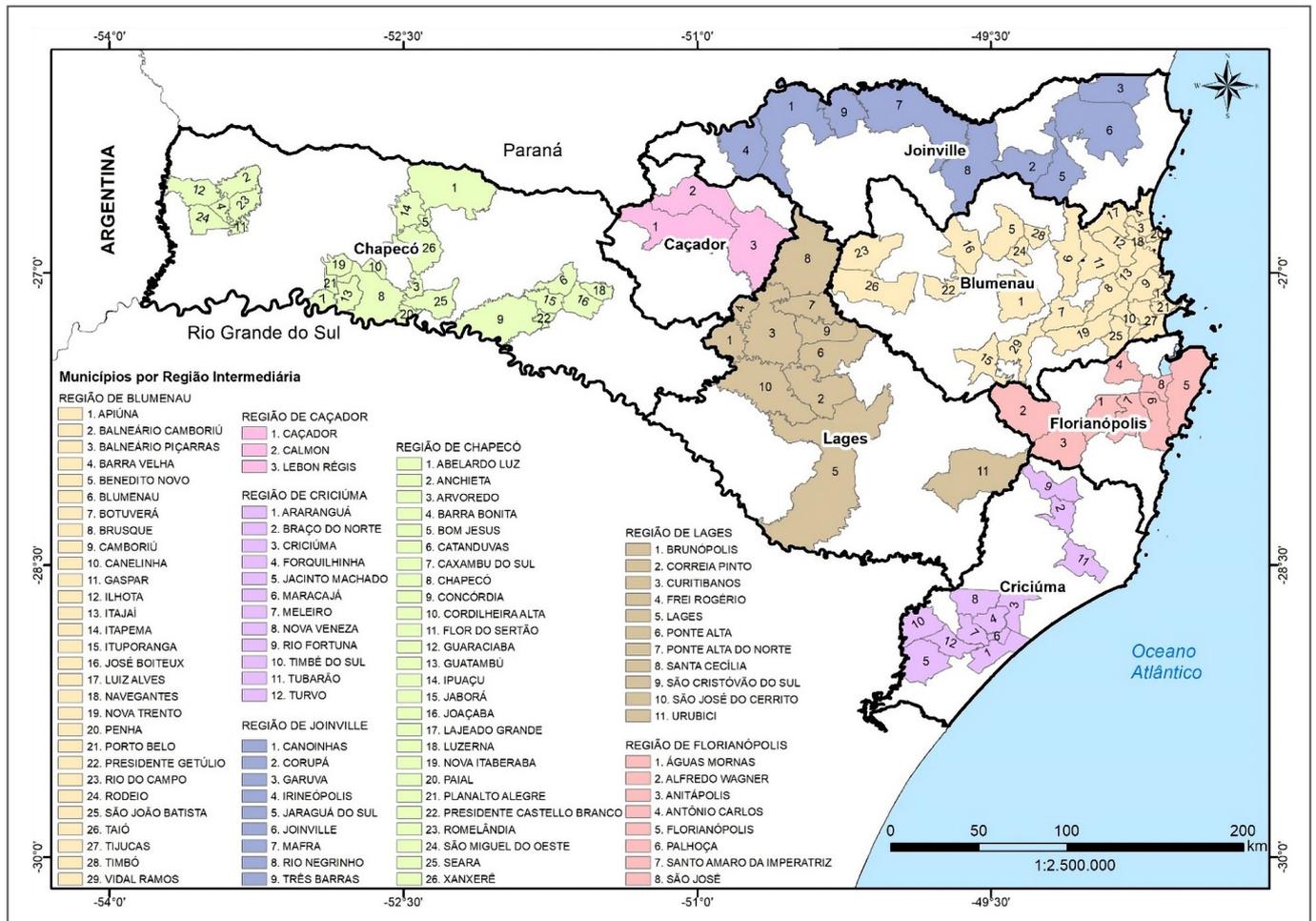


FIGURA 1 - Distribuição espacial dos municípios contemplados com Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundação no estado de SC. Fonte: Elaborado pelos autores.

nos processos, como: queda de blocos e/ou lascas; tombamento; deslizamentos em cunha, planar, rotacional e/ou não determinado; corridas de massa e rastejo. A fim de minimizar os efeitos de área dos setores durante os cruzamentos e análises, os polígonos foram convertidos em pontos, utilizando-se o algoritmo Centroides do *software* QGIS Desktop 3.8.1.

As cartas de suscetibilidade não estão disponíveis para todo o território estadual, dessa forma optou-se por não utilizar as classes de suscetibilidade a MGM neste projeto. Entretanto, as feições pontuais de cicatrizes foram integradas ao banco de dados.

À base de dados foram acrescentados dados vetoriais que permitem a caracterização do meio físico. Esses dados incluem a classificação de solos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBSC da EMBRAPA (1998), considerando a 1ª e 2ª ordem, que resulta em vinte classes, em escala 1:250.000, e a compartimentação geológica em quatorze domínios geológicos, em escala 1:500.000, conforme apresentado no projeto Geodiversidade do Estado de Santa Catarina (VIERO; SILVA, 2016).

O mapa geomorfológico do estado de Santa Catarina, publicado por Viero e Silva (2016), encontra-se em atualização, em função de novos dados de entrada e de padrões incorporados à Biblioteca de Padrões de Relevo da CPRM (DANTAS, 2016) e posteriormente integrará a base de dados.

A base cartográfica utilizada é disponibilizada pelo IBGE. Uma imagem raster do modelo digital de elevação (MDE) do satélite ALOS-PALSAR, em resolução espacial de 12.5 m/pixel também foi incorporado ao banco de dados. A partir do MDE, gerou-se os subparâmetros geomorfológicos de declividade, curvatura de plano e de perfil e orientação das encostas. Os algoritmos *Slope*, *Curvature* e *Aspect* do ArcGIS 10.7.1 foram utilizados para a obtenção dos parâmetros. Para a classificação da declividade em classes de declividade, utilizou-se como referência o trabalho de EMBRAPA (1979). Para a classificação da forma da encosta, foi usado o trabalho de Valeriano (2008).

As feições de cicatrizes das cartas de suscetibilidade não estavam disponíveis para todo o estado de Santa Catarina. Foi necessário realizar o inventário de cicatrizes para as regiões não mapeadas previamente. Neste

sentido, foram fotointerpretadas as imagens históricas disponíveis no aplicativo *Google Earth PRO*®. O cadastro foi realizado por meio de feição de pontos marcados na crista da cicatriz, conforme apresentado na Figura 2, que demonstra diferentes feições cartografadas durante o cadastro nos municípios de Papanduva e Xavantina.

Os dados referentes ao mapeamento de cicatrizes oriundas do projeto Cartas Municipais de Suscetibilidade e as inventariadas no desenvolvimento deste projeto foram integradas e disponibilizadas em arquivo único, seguindo normas do Manual de Procedimentos Técnicos para a Elaboração das Cartas Municipais de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações da CPRM (IPT; CPRM, 2014).

Após essa etapa de compilação das informações espaciais, todos os dados foram georreferenciados para

o sistema de referência SIRGAS 2000, adotando-se o Sistema de Coordenadas Geográficas.

A continuidade desse trabalho englobará os tópicos a seguir:

- Espacialização, tratamento e cruzamento dos dados em ambiente SIG;
- Organização e sistematização das informações e ilustrações com uso de mapas, gráficos e tabelas;
- Análise dos resultados;
- Elaboração de Nota Técnica Explicativa;
- Supervisão e acompanhamento da editoração, impressão e publicação dos produtos finais do projeto: nota técnica e banco de dados;
- Divulgação dos resultados do projeto junto a universidades, prefeituras, governo do estado de Santa Catarina e órgãos de Defesa Civil.



FIGURA 2 - Imagens ilustrativas do mapeamento das cicatrizes no aplicativo *Google Earth Pro*: A - Município de Papanduva, 2015; B - Município de Xavantina, 2019. Fonte: Elaborado pelos autores.

RESULTADOS PRELIMINARES

No estado de Santa Catarina foram identificados 2.789 setores de risco, dos quais, 1.577 setores apresentam risco a movimentos de massa. A distribuição espacial dos setores de risco é apresentada na Figura 3. Em complementação, na Tabela 1 é apresentada a distribuição dos setores por processo em relação ao total de setores de movimentos de massa. Destaca-se que o principal processo de movimento de massa verificado no estado são os deslizamentos planares.

O cadastro de cicatrizes é formado por 8.615 pontos. A espacialização dos dados é apresentada na Figura 4. Destes, 5.358 cicatrizes foram identificadas no escopo das cartas de suscetibilidade. Por outro lado, 3.257 cicatrizes foram cartografadas nos municípios não contemplados pelas cartas de suscetibilidade.

No geral, as cicatrizes estão associadas a processos naturais, enquanto os setores de risco podem ou não ser resultantes da ação antrópica, como, por exemplo, deslizamentos em taludes de corte e queda de blocos em paredões rochosos de antigas áreas de mineração. Entretanto, os mapeamentos demonstraram a diversidade

de ocorrências em todo o território catarinense. Verifica-se, ainda, que os setores de risco ocorrem bem distribuídos em todas as regiões, enquanto as cicatrizes identificadas ocorrem associadas às regiões de relevo acidentado ao longo da Serra do Leste Catarinense e da Escarpa da Serra Geral. As correlações entre os setores de risco, a

TABELA 1: Distribuição de setores de risco de MGM por tipo de processo.

Processo	Distribuição
Deslizamento planar	62,8%
Deslizamento não determinado	20,7%
Queda de blocos	9,5%
Rastejo	2,3%
Corrida de massa	2,3%
Deslizamento rotacional	1,8%
Deslizamento em cunha	0,2%
Queda de lascas	0,2%
Tombamento	0,1%

Fonte: Elaborado pelos autores.

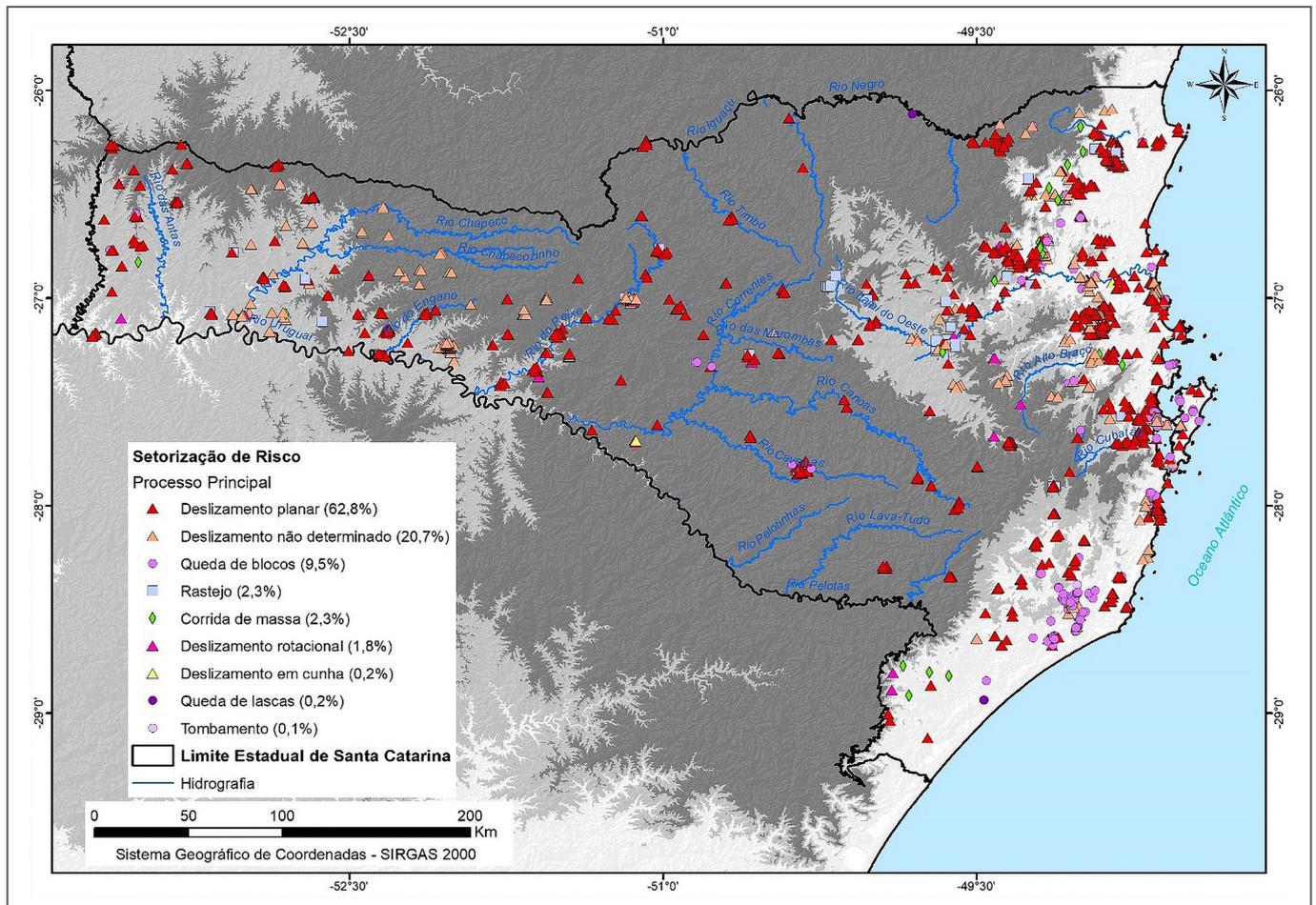


FIGURA 3 - Distribuição espacial dos setores de risco mapeados no estado de Santa Catarina. Fonte: Elaborado pelos autores.

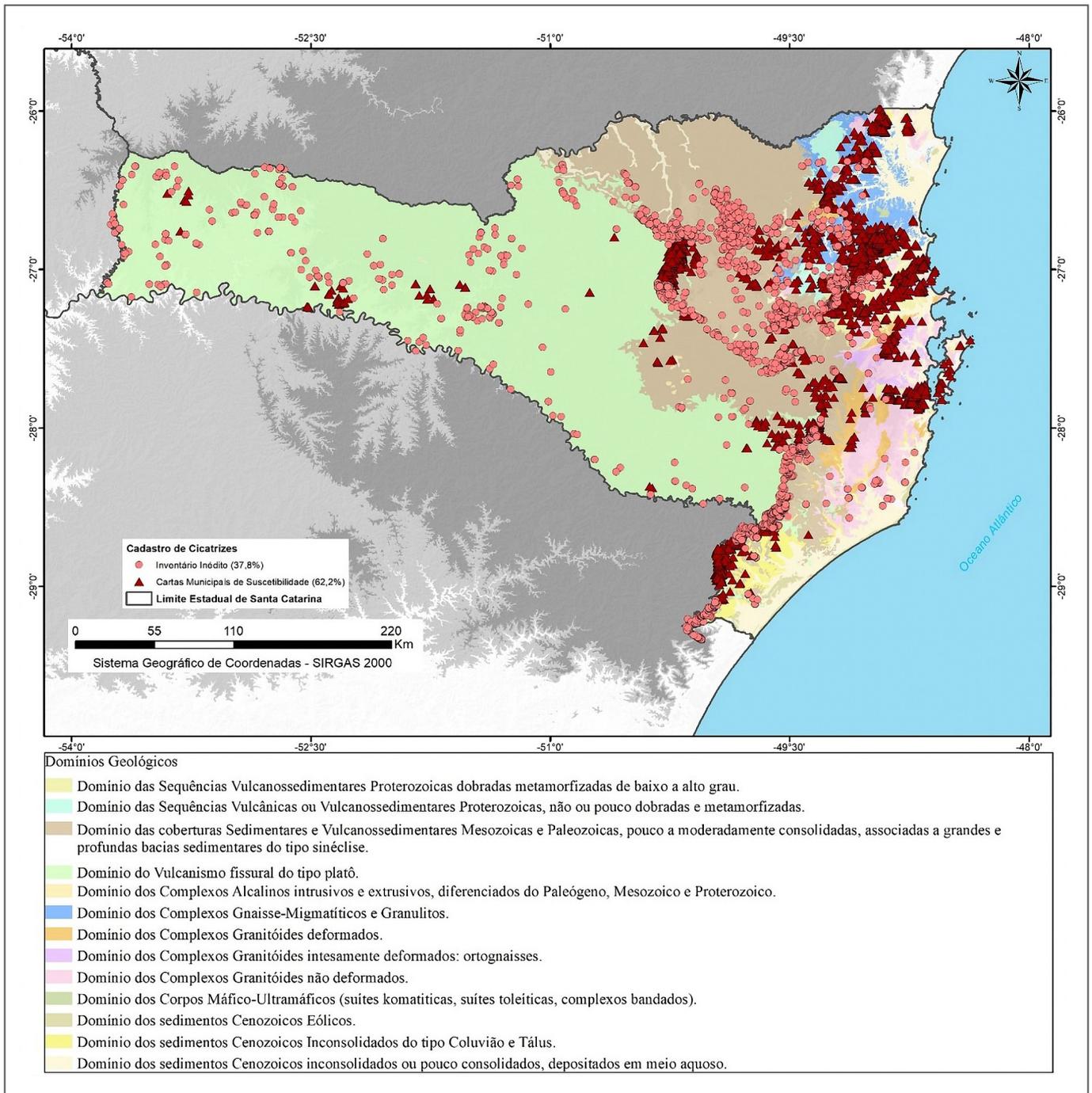


FIGURA 4 - Distribuição espacial das cicatrizes de deslizamentos mapeadas no estado de Santa Catarina, nas cartas de suscetibilidade e no inventário inédito de cicatrizes, frente aos domínios geológicos presentes no Estado, conforme Viero e Silva (2016). Fonte: Elaborado pelos autores

geologia e o tipo de solo e entre as cicatrizes, os parâmetros geomorfométricos, geologia e solos permitiram identificar a potencialidade de ocorrência de eventos.

As Tabelas 2 e 3 apresentam os resultados das correlações dos setores de risco com a geologia e o tipo de solo, respectivamente.

O resultado referente ao cruzamento dos setores de risco com a geologia (Tabela 2) demonstrou que a maior incidência de movimentos de massa se refere aos

domínios de rochas ígneas, principalmente às rochas básicas do Grupo Serra Geral, isso também ocorre por esta litologia representar uma grande extensão territorial no oeste do estado.

A classe de solo cambissolo háplico demonstrou maior correlação com as áreas de risco. Esse resultado condiz com a caracterização dos solos, rasos e jovens com horizonte B incipiente, os quais favorecem a ocorrência de rupturas em planos de discontinuidades

TABELA 2: Resultado estatístico da distribuição dos setores de risco por domínio geológico.

Domínio Geológico	Distribuição
Domínio do vulcanismo fissural do tipo platô	25,7%
Domínio dos complexos granitoides não deformados	16,6%
Domínio dos complexos gnaisse-migmatíticos e granulitos	15,7%
Domínio das coberturas sedimentares e vulcano-sedimentares mesozoicas e paleozoicas associadas a grandes e profundas bacias sedimentares do tipo sinéclise	11,7%
Domínio das sequências vulcano-sedimentares proterozoicas dobradas e metamorizadas de baixo a alto grau	9,4%
Domínio dos sedimentos cenozoicos inconsolidados ou pouco consolidados, depositados em meio aquoso	9,3%
Domínio dos complexos granitoides deformados	4,6%
Domínio dos complexos granitoides intensamente deformados: ortognaisses	3,2%
Domínio das sequências vulcânicas ou vulcano-sedimentares proterozoicas, não ou pouco dobradas e metamorizadas	2,2%
Domínio dos sedimentos cenozoicos eólicos	0,7%
Domínio dos sedimentos cenozoicos inconsolidados do tipo coluvião e tálus	0,6%
Domínio dos corpos máfico-ultramáficos (suítes komatíticas, suítes toleíticas, complexos bandados)	0,2%

Fonte: Elaborado pelos autores.

TABELA 3: Resultado estatístico da distribuição dos setores de risco por tipo de solo.

Tipo de solo	Distribuição
Cambissolo háplico	34,0%
Argissolo vermelho-amarelo	25,1%
Gleissolo háplico	10,0%
Nitossolo vermelho	8,2%
Neossolo litólico	5,9%
Urbano	4,9%
Nitossolo háplico	3,2%
Cambissolo húmico	2,5%
Latossolo bruno	1,2%
Drenagem dupla	1,1%
Espodossolo cárbico	1,0%
Argissolo vermelho	0,9%
Neossolo quartzarênico	0,8%
Latossolo vermelho	0,4%
Corpo d'água	0,3%
Dunas e areias das praias	0,2%
Organossolo méxico	0,2%
Neossolo flúvico	0,1%
Solos indiscriminados de mangue	0,1%

Fonte: Elaborado pelos autores.

no saprólito ou mesmo no contato solo-rocha. A classe ocorre predominantemente em terrenos movimentados e acidentados com declividades elevadas, o que corrobora com a suscetibilidade a MGM.

Os resultados encontrados a partir da correlação dos dados das cicatrizes com os subparâmetros geomorfológicos de declividade, curvatura de plano e de perfil, bem como, orientação das encostas estão apresentados nas Tabelas 4, 5 e 6.

TABELA 4: Distribuição das cicatrizes por classes de declividade.

Classes de declividade	Distribuição
0-3%	0,02%
3-8%	0,7%
8-20%	5,3%
20-45%	38,9%
45-75%	37,8%
>75%	17,4%

Fonte: Elaborado pelos autores.

TABELA 5: Distribuição das cicatrizes quanto à orientação das encostas.

Orientação da encosta	Distribuição
N (337,5 – 22,5)	17,4%
NE (22,5-67,5)	17,3%
E (67,5-112,5)	15,1%
SE (112,5-157,5)	12,2%
S (157,5 – 202,5)	8,1%
SW (202,5-247,5)	7,4%
W (247,5-292,5)	8,5%
NW (292,5-337,5)	14,1%

Fonte: Elaborado pelos autores.

TABELA 6: Distribuição das cicatrizes quanto à forma das encostas.

Forma da encosta	Distribuição
Côncava-convergente	25,0%
Côncava-plana	2,8%
Côncava-divergente	13,3%
Retilínea-convergente	0,7%
Retilínea-plana	4,3%
Retilínea-divergente	0,7%
Convexa-convergente	15,5%
Convexa-plana	4,0%
Convexa-divergente	33,7%

Fonte: Elaborado pelos autores.

A análise dos dados permite observar que a deflagração de MGM ocorre, majoritariamente, a partir de 20% de declividade. Quanto à orientação da encosta, predomina a deflagração dos movimentos de massa nas faces norte, nordeste e noroeste. Quanto à forma das encostas, os movimentos de massa foram deflagrados, em sua maioria, em encostas convexa-divergente e côncava-convergente.

As cicatrizes foram caracterizadas quanto aos domínios geológicos e classes de solo. Os resultados são apresentados nas Tabelas 7 e 8, respectivamente.

TABELA 7: Resultado estatístico da distribuição das cicatrizes por domínio geológico.

Domínio Geológico	Distribuição
Domínio das coberturas sedimentares e vulcanosedimentares mesozoicas e paleozoicas associadas a grandes e profundas bacias sedimentares do tipo sinéclise	40,0%
Domínio do vulcanismo fissural do tipo platô	23,5%
Domínio dos complexos gnaiss-migmatíticos e granulitos	10,5%
Domínio dos complexos granitoides não deformados	8,7%
Domínio das sequências vulcânicas ou vulcanosedimentares proterozoicas, não ou pouco dobradas e metamorizadas	8,2%
Domínio das sequências vulcanosedimentares proterozoicas dobradas e metamorizadas de baixo a alto grau	7,2%
Domínio dos complexos granitoides deformados	1,4%
Domínio dos corpos máfico-ultramáficos (suítes komatíticas, suítes toleíticas, complexos bandados)	0,3%
Domínio dos sedimentos cenozoicos inconsolidados ou pouco consolidados, depositados em meio aquoso	0,1%
Domínio dos complexos granitoides intensamente deformados: ortognaisses	0,1%
Domínio dos sedimentos cenozoicos inconsolidados do tipo coluvião e tálus	0,1%

Fonte: Elaborado pelos autores.

TABELA 8: Resultado estatístico da distribuição das cicatrizes por tipo de solo.

Tipo de solo	Distribuição
Neossolo litólico	68,7%
Cambissolo háplico	17,8%
Argissolo vermelho-amarelo	7,5%
Cambissolo húmico	1,7%
Gleissolo háplico	1,7%
Nitossolo vermelho	1,3%
Afloramentos rochosos	1,0%
Nitossolo háplico	0,1%
Drenagem dupla	0,05%
Latossolo vermelho	0,03%

Continua

TABELA 8: Resultado estatístico da distribuição das cicatrizes por tipo de solo (continuação).

Tipo de solo	Distribuição
Urbano	0,03%
Neossolo flúvico	0,02%
Neossolo quartzarênico	0,02%
Espodosolo cárbico	0,01%
Latossolo bruno	0,01%
Organossolo méxico	0,01%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Quanto às cicatrizes, essas ocorrem predominantemente no domínio das coberturas vulcanosedimentares e sedimentares mesozoicas e paleozoicas associadas a grandes e profundas bacias sedimentares do tipo sinéclise. As cicatrizes encontram-se distribuídas preferencialmente em solos do tipo neossolo litólico; este fato é explicado pela pouca profundidade destes solos, propiciando a ocorrência de movimentos de massa cujas rupturas estão situadas em planos de descontinuidades no contato solo-rocha.

COMENTÁRIOS FINAIS

Os resultados apresentados são preliminares, contudo já demonstram algumas correlações dominantes na ocorrência e deflagração de movimentos gravitacionais de massa em ambientes naturais e antropizados.

Notoriamente, os movimentos de massa ocorrem em maiores concentrações na porção centro-leste do estado, conforme especificado nas Figuras 3 e 4. Os estudos subsequentes irão avaliar as correlações geológicas e geomorfológicas mais abrangentes, bem como compreender as características naturais e antrópicas que se combinam para controlar a ocorrência de MGM.

As próximas etapas de desenvolvimento deste trabalho têm por objetivo apresentar os resultados de forma dinâmica e de fácil compreensão tendo em vista o Público-alvo e a aplicabilidade dos dados gerados para a gestão dos desastres associado a movimentos gravitacionais de massa no estado de Santa Catarina.

REFERÊNCIAS

AUGUSTO FILHO, O. **Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica**. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1., 1992, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: ABMS; ABGE, 1992. v. 2, p. 721-733.

BRASIL. **Lei nº 12.608**, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil -

SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nos 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 11 abr. 2012.

Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres - CENAD. **Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE)**. [Brasília], c2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/protecao-e-defesa-civil/informacoes-uteis/centro-nacional-de-gerenciamento-de-riscos-e-desastres-cenad>. Acesso em: 31 jul. 2020.

DANTAS, Marcelo Eduardo (Org.). **Biblioteca de padrões de relevo: carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação**. [Rio de Janeiro]: CPRM, [2016]. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/16589>Acesso em 27 nov.2020.

EMBRAPA. **Súmula da X reunião técnica de levantamento de solos**. Rio de Janeiro: SNLCS, 1979. 83 p. (SNLCS. Série Miscelânea; 1). EMBRAPA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro, 1998. xxv, 721 p. (Boletim de Pesquisa; 6).

GOTHE, C. A. V. **Avaliação dos impactos ambientais da indústria carbonífera nos recursos hídricos da região catarinense**. 1993. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Departamento de Geociências, UFSC, Florianópolis, 1993.

HORN FILHO, N. O.; DIEHL, F. L. Santa Catarina coastal province, Brazil: geology, geomorphology and paleogeography. **Journal of Coastal Research**, United States, Special Issue n. 39, v. 1, p. 311-315, 2006.

IBGE. **Atlas geográfico escolar**. 8. ed. Rio de Janeiro, 2018. 224 p., il.

INFANTI JÚNIOR, N.; FORNASARI 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.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações, 1:25.000**: nota técnica explicativa. São Paulo: IPT; Brasília: CPRM, 2014. ISBN 978-85-09-00177-3.

SAMPAIO, T. Q.; PIMENTEL, J.; SILVA, C. R.; MOREIRA, H. F. **A atuação do Serviço Geológico do Brasil - CPRM na gestão de riscos e resposta a desastres naturais**. *In*: CONGRESSO CONSAD DE GESTÃO PÚBLICA, 6., 2013, Brasília, DF. Anais [...]. Brasília: CONSAD, 2013. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/gestao_territorial/riscos_geologicos/atuacao_cprm_programa_gestao_riscos.pdf. Acesso em: 03 nov. 2020.

SILVA, L. C.; BORTOLUZZI, C. A. (Eds.). **Mapa geológico do estado de Santa Catarina, escala 1:500.000**: texto explicativo e mapa. Florianópolis: DNPM/SCTME, 1987. 216 p.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Orgs.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 196 p.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA**: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campos, SP: INPE, 2008. 72 p.

VIERO, A. C.; SILVA, D. R. A. (Orgs.). **Geodiversidade do estado de Santa Catarina**. Porto Alegre: CPRM, 2016.

WILDNER, W.; CAMOZZATO, E.; TONIOLO, J. A.; BINOTTO, R. B.; IGLESIAS, C. M. F.; LAUX, J. H. **Mapa geológico do estado de Santa Catarina**: escala 1:500.000. Porto Alegre: CPRM, 2014.

Informe Técnico-Científico de Prevenção de Desastres e Ordenamento Territorial

Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial | Departamento de Gestão Territorial

V. 2, N. 1 Rio de Janeiro, março 2021

O Estudo de Uso e Cobertura do Solo para o Baixio da Boa Vista: Municípios de Xique-Xique e Itaguaçu da Bahia, Bahia, Brasil

*Land Use and Soil Cover Study in the Baixio da Boa Vista Region,
Municipalities of Xique-Xique and Itaguaçu da Bahia, Bahia, Brazil*Alberto Franco Lacerda (alberto.lacerda@cprm.gov.br)¹¹ Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Superintendência de Salvador

Abstract

The burning practice is a very common procedure in livestock and agricultural areas. However, this practice, in fact, also consumes an extensive area of the caatinga bioma in regions at the São Francisco river valley. The work area covers the entire length of the municipalities of Xique-Xique and Itaguaçu da Bahia, both located in the State of Bahia. With regard to land use and cover, a preliminary approach was carried out based on the treatment of satellite images. After analyzing the results, the comparative land use and cover, for the years 2008 and 2018 illustrated the progress of extensive livestock and agricultural activities, and how it has been taking over the caatinga space.

Keywords: Land use and cover, Burning practice, supervised classification

Palavras chave: Uso e cobertura do solo, Queimadas, classificação supervisionada

INTRODUÇÃO

A prática de queimadas é uma atividade bastante comum para a limpeza do solo, nas áreas agrícolas. Porém, esta prática, na verdade, também consome boa parte de áreas de caatinga em regiões do médio São Francisco.

Grandes extensões de caatinga veem sofrendo com a recorrência de queimadas para a expansão de atividades agropastoris nos últimos anos.

Nesse mesmo período, o nordeste brasileiro, de um modo geral, vem apresentando um aumento expressivo de áreas queimadas. Como um desdobramento, o fenômeno conhecido como desertificação, o qual resulta da degradação das terras nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, também apresenta números crescentes nesta região.

Desta forma, foi realizado para este trabalho o estudo comparativo de uso e cobertura do solo nos municípios de Xique-Xique e Itaguaçu da Bahia que abrigam a área do Projeto Público de Irrigação Baixio de Irecê de responsabilidade da CODEVASF, também conhecido como Baixio da Boa Vista, de forma expedita, para os anos de 2008 e 2018, por meio da análise de imagens de satélites, com o objetivo de buscar informações que permitam entender as alterações do espaço geográfico ao longo do tempo, com ênfase na última década.

Segundo Rujoiu-Mare e Mihai (2016), o uso e cobertura do solo representa um importante fator na análise geográfica, desde estudos de geografia física até uma análise ambiental, além de abordagens de planejamento espacial, pois reflete uma interação entre atividades socioeconômicas e mudanças ambientais regionais.

ÁREA DO PROJETO

A área de trabalho abrange toda a extensão dos municípios de Xique-Xique e Itaguaçu da Bahia, ambos localizados no Estado da Bahia, na margem direita do rio São Francisco, com aproximadamente 9.398,49 km².

Esta área está inserida numa região conhecida, segundo Gomes, Amorim e Oliveira (2018), como Território de Identidade de Irecê. É caracterizada pela agropecuária e pela agricultura de sequeiro como culturas de milho, mamona e o feijão. Contudo, as culturas de feijão foram substituídas, em grande escala, pelas culturas de cebola. A agricultura de sequeiro é aquela implantada durante o período chuvoso, bastante utilizada em regiões do sertão nordestino, onde a distribuição das precipitações é irregular e diminuta.

Segundo Macêdo (2010 apud GOMES; AMORIM; OLIVEIRA, 2018), nas décadas de 1960 a 1980, houve grande retirada da caatinga nativa para o cultivo desses

grãos, devido ao fato da região possuir solos de boa fertilidade natural, derivados de rochas carbonáticas e água subterrânea.

Com relação ao uso e cobertura do solo foi realizada uma abordagem preliminar com base no tratamento de imagens de satélites. Na etapa seguinte, foram realizadas três etapas de campo que serviram para melhor definir amostras de treinamento e calibrar o processo de classificação das imagens. A escolha de amostras de treinamento é uma das etapas para o método de classificação supervisionada de imagens conforme descrito por Moreira (2005), a qual consiste em fornecer ao sistema um conjunto de pixels, representativos de cada alvo de ocupação do solo.

AQUISIÇÃO E PRÉ-PROCESSAMENTO DAS IMAGENS (MATERIAIS E MÉTODOS)

Devido à grande extensão da área, foi necessário analisar três cenas do satélite Landsat-8, manipulando as bandas multiespectrais do sensor OLI (*Operacional Land Imager*).

Foram adquiridas as cenas de órbita/ponto 218/67, 218/68 e 219/68 correspondentes à data de 30 de outubro de 2008 para as duas primeiras cenas e 21 de outubro de 2008 para a última cena. Para o ano de 2018 as duas primeiras cenas foram coletadas com a data de 10 de outubro. A última cena para 2018 foi com a data de 18 de janeiro. Como a área utilizada da última cena (219/68) seria mínima, com o intuito apenas de completar o recobrimento da área de trabalho, sendo esta uma área completamente sem interferência antrópica, não foi considerado um problema o intervalo de tempo entre as cenas.

As imagens foram obtidas através do site *EarthExplorer USGS* do Instituto Geológico Americano (USGS, 2019). A projeção adotada foi a Universal Transversa de Mercator e DATUM SIRGAS 2000. A figura 1 ilustra a área de trabalho juntamente com o recobrimento da grade Landsat 08.

Para Novo (2008), assim como para Jones e Vaughan (2010), os primeiros passos para a preparação e manipulação de dados ópticos incluem correção geométrica e radiométrica, remoção de ruído, assim como diversas formas de melhoramento.

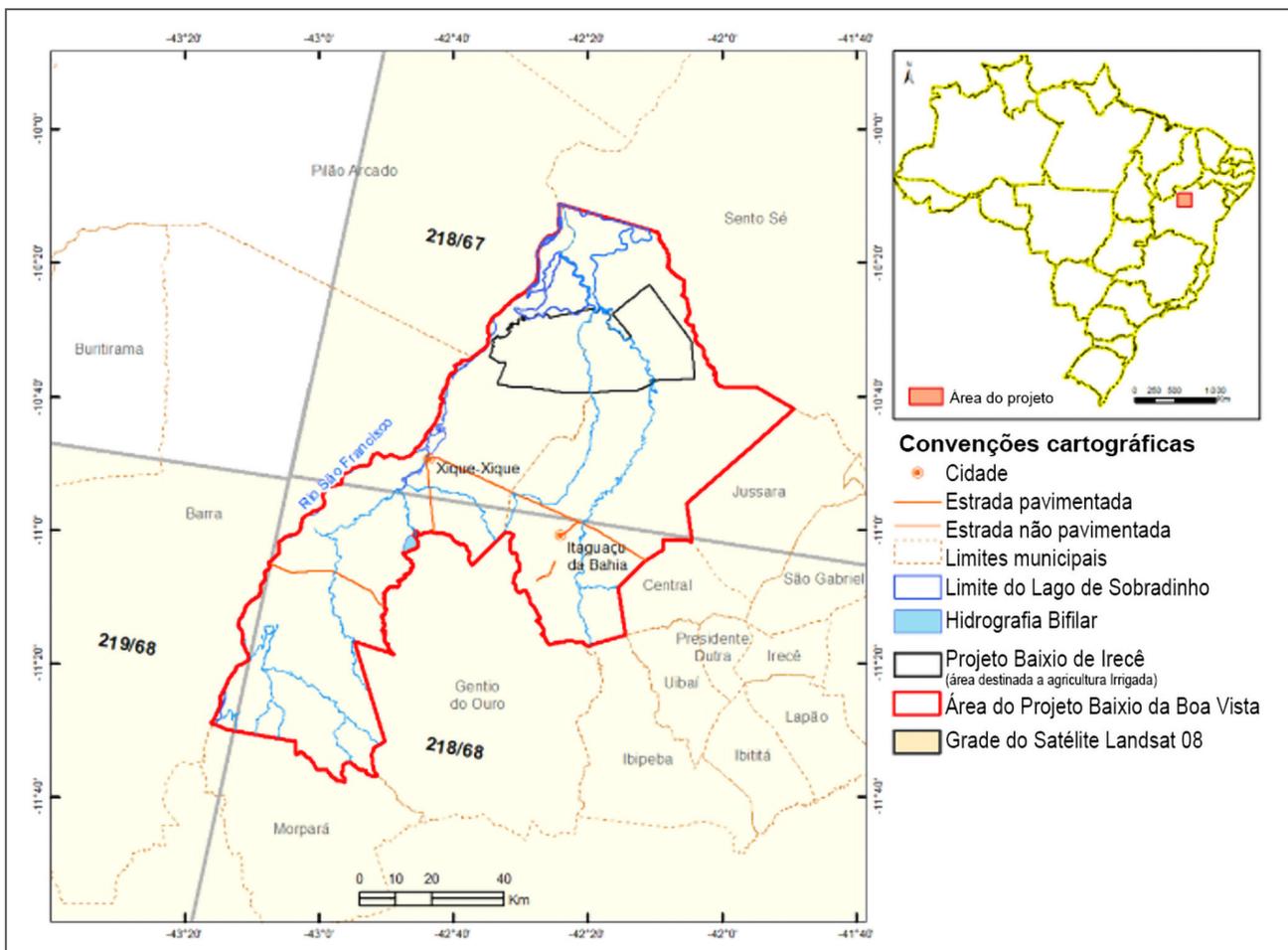


FIGURA 1 - Grade das cenas do Landsat 08 recobrindo a área dos municípios de Xique-Xique e Itaguaçu da Bahia. Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

As imagens dos satélites obtidas do USGS já possuíam correção geométrica. Assim, o registro e o georreferenciamento da imagem não foram necessários.

Para que processamentos que envolvem a resposta espectral de feições como solo e vegetação pudessem ser elaborados, as imagens passaram por correção radiométrica e atmosférica, quando os valores de números digitais (NDs) foram convertidos para valores físicos de reflectância no nível do solo. Isso implica em dizer que as interferências da fonte de luz, do sensor e da atmosfera foram removidas, restando apenas as informações dos sinais de reflectância da superfície do solo.

Inicialmente foi feita a calibração da imagem para que os números digitais pudessem ser transformados em radiância no topo da atmosfera (TOA), eliminando assim, as interferências causadas pelo sensor.

Com a imagem calibrada, foi realizada a correção atmosférica para que os valores de radiância no topo da atmosfera pudessem ser transformados em valores reais de reflectância no solo, eliminando assim as interferências causadas pela atmosfera e pela fonte de luz.

Aplicou-se o método *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes* - FLAASH (HARRIS GEOSPATIAL SOLUTIONS, 2019) uma vez que se trabalhou apenas com as faixas multiespectrais do visível e regiões do infra-vermelho nas três cenas do Landsat 08. Para otimização do trabalho foi feito o mosaico das cenas pré-processadas de cada satélite e depois o redimensionamento da imagem gerada pelo mosaico ao retângulo envolvente da área de trabalho.

CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS

Para Novo (2008), as técnicas de classificação visam, em última análise, atribuir a cada pixel da imagem um rótulo em função de suas propriedades espectrais e/ou espaciais. Em outras palavras, Moreira (2005) explica que na classificação procura-se rotular cada pixel segundo a ocupação do solo, semelhante ao que se faz na abordagem visual. Moreira (2005) explica, ainda, que a depender do algoritmo a ser utilizado, a classificação é dita supervisionada ou não-supervisionada, envolvendo duas fases distintas: treinamento e classificação propriamente dita.

As seguintes atividades foram realizadas para esta análise/estudo: escolha de amostras de treinamento e classificação supervisionada das imagens, utilizando o método de classificação supervisionada (MOREIRA, 2005); elaboração de mapa pré-campo; utilização de técnicas de contraste de imagens; aplicação de índices radiométricos (NDVI) e a verificação ao longo da campanha de campo, no ano de 2019.

O trabalho de campo foi muito importante para a verificação e ajuste das áreas de treinamento escolhidas para o mapa pré-campo. Devido ao comportamento espectral

das imagens trabalhadas, muitas feições apresentavam respostas semelhantes. Deste modo, verificou-se a necessidade de agrupar algumas delas e segregar outras para melhor apresentação da diferença do uso e cobertura do solo para a área do Baixo da Boa Vista, generalizando a informação e ajustando-a à escala de trabalho.

As áreas de caatinga, em diferentes estágios, foram agrupadas em uma mesma classe Caatinga. As áreas de cultura de sequeiro, pecuária e outras atividades agrícolas também foram agrupadas numa mesma classe chamada Agropastoril. Isso inclui as amplas áreas de cultivo de carnaúbas, tanto próximo à lagoa de Itaparica quanto as áreas próximas ao distrito de Bela Vista.

As áreas urbanas apesar de serem muito pequenas, quando comparadas à área de trabalho, permaneceram para evidenciar o contraste da mancha urbana com as demais feições dentro da área de trabalho.

Considerando os aspectos descritos, as classes utilizadas para a construção do mapa final de uso e cobertura do solo foram:

1. **Água** – Representando a porção do rio São Francisco na área de trabalho
2. **Áreas Queimadas** – Áreas da caatinga que sofreram queimadas recentemente, possivelmente no mesmo ano da visita de campo.
3. **Áreas em recuperação** - Áreas da caatinga com marcas de queimadas de anos anteriores, nas quais a caatinga já se apresenta em recuperação e em crescimento
4. **Agropastoril** – engloba as atividades antrópicas em área de caatinga, como a cultura de sequeiro, pecuária e demais atividades agrícolas.
5. **Caatinga** – Áreas preservadas do bioma associadas à área do projeto do Baixo de Irecê e ao domínio serrano no limite centro-sul da área de trabalho.
6. **Calcário** – de maneira geral, são referentes aos afloramentos de calcário existentes na planície do rio Verde e ao exocarste do Morro da Pedra Calcária (no extremo leste da área de trabalho).
7. **Herbáceas** – Vegetação com resposta espectral singular, distinta do bioma caatinga e das áreas antropizadas.
8. **Mata Ciliar** – Vegetação ao longo do leito do rio Verde. Contudo, devido à resposta espectral ao método adotado esta categoria não aparece no mapa principal, pois apresentou área desprezível quando comparada à área total do Projeto.
9. **Solo exposto** – Amplas áreas sem recobrimento de vegetação, principalmente próximas à lagoa de Itaparica.
10. **Área urbana** – Áreas referentes à mancha urbana de Xique-Xique e Itaguaçu da Bahia, além dos pequenos distritos de ambos os municípios.

RESULTADOS

É possível observar que a cobertura vegetal mais significativa da área de trabalho é a Caatinga, com mais de 60% para ambos os anos. Quando somadas às Áreas Queimadas e Áreas queimadas em recuperação, alcançam 66% da área para 2008 e 64% para 2018 (Tabela 1). Este resultado parece demonstrar baixo dinamismo econômico da região entre 2008 e 2018 com poucas mudanças significativas na paisagem geográfica.

TABELA 1: Uso e Cobertura do solo do Baixio da Boa Vista

Cobertura do Solo	2008		2018	
	Área Km ²	%	Área Km ²	%
Água	113,98	1,21	64,90	0,69
Áreas Queimadas	65,83	0,70	9,85	0,10
Áreas em Recuperação	19,82	0,21	187,91	2,00
Agropastoril	2.718,01	28,92	3.082,92	32,80
Caatinga	6.168,72	65,64	5.823,17	61,96
Calcário	1,06	0,01	0,98	0,01
Herbáceas	90,16	0,96	89,98	0,96
Solo Exposto	216,95	2,31	134,24	1,43
Urbano	3,96	0,04	4,54	0,05
Total	9.398,49	100,00	9.398,49	100,00

Fonte: Elaborada pelo autor.

A maior concentração do bioma está associada à área do projeto de irrigação Baixio de Irecê, de transposição de águas do rio São Francisco para áreas mais debilitadas do sertão baiano, que até a data das atividades de campo deste trabalho encontrava-se parado, com a construção de apenas metade do canal previsto no projeto e com as áreas de loteamento ainda com a cobertura vegetal nativa, às áreas de lençóis de areia no extremo sul da área de trabalho e à Serra de Santo Inácio. A porção da Serra de Santo Inácio referente à área de trabalho, apresenta uma amplitude de até 300 metros com vegetação predominantemente de Caatinga arbórea densa, embora algumas áreas no sopé da Serra estejam antropizadas.

No sopé da encosta da Serra de Santo Inácio, a fitofisionomia da Caatinga é a mesma encontrada nas áreas de superfícies aplainadas. Contudo, à medida que se atinge cotas mais altas o que se vê é uma vegetação mais densa com folhas largas e uma fisionomia mista, apresentando tanto exemplares típicos da caatinga quanto de áreas mais úmidas. A resposta espectral nesta área é advinda da mistura do tipo de vegetação com as rochas pelíticas, argilitos e arenitos das Formações Morro do Chapéu, Caboclo e Tombador.

Porém, vale ressaltar que nas porções limítrofes da área de estudo, já no município de Gentio do Ouro, a caatinga apresenta-se bastante esparsa e de porte mais herbáceo, quase como um campo rupestre, uma vez que os Neossolos Litólicos provenientes dos arenitos da Formação Tombador, no topo da Serra devem influenciar no seu desenvolvimento.

A segunda classe mais abundante na área de trabalho é a Agropastoril. Como descrito acima, a região de estudo é marcada pela agropecuária e pela agricultura de sequeiro. Assim, nas décadas de 1960 – 1980, houve grandes incentivos do governo, os quais levaram à discreta antropização da área, representada pelo aumento de quase 4% da classe Agropastoril, quando comparado o ano de 2008 para 2018. Esse aumento pode indicar uma estagnação da economia desses dois municípios, principalmente se associarmos às informações de renda e trabalho. A proporção de pessoas ocupadas em relação à população total era de 7,2% para o município de Xique-Xique (IBGE, 2018a) e de 3,9% para Itaguaçu da Bahia (IBGE, 2018b). Os domicílios com rendimentos mensais de até meio salário mínimo por pessoa, tinha 52,8% da população nessas condições para o município de Xique-Xique (IBGE, 2018a) e 54,5% para o município vizinho (IBGE, 2018b).

No município de Itaguaçu da Bahia, principalmente, as manchas de Caatinga se intercalam com talhões utilizados para a atividades agropastoris. Estes últimos, por vezes, se encontravam ora abandonados, com um princípio de reestabelecimento da vegetação nativa, ora em descanso para a próxima estação de cultivo ou manejo do gado. (Figura 2).

Os mapas de uso e cobertura do solo para toda a extensão dos municípios de Xique-Xique e Itaguaçu da Bahia, para os anos de 2008 e 2018, são apresentados nas figuras 3 e 4, respectivamente.

As matas ciliares estão localizadas ao longo da planície do rio Verde e, também, associadas às barras e planícies do rio São Francisco. Contudo, conforme o método de classificação e a escala de trabalho, estas se apresentaram com áreas desprezíveis.

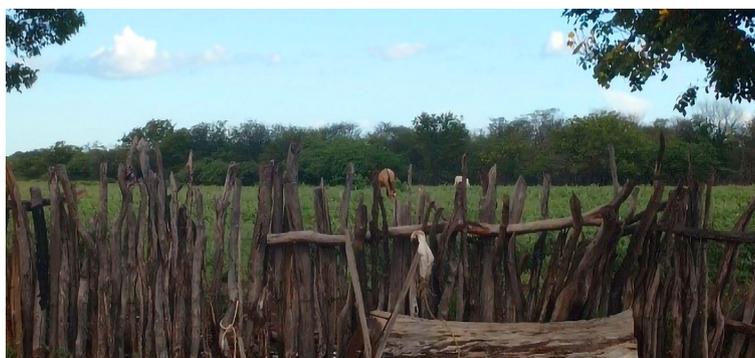


FIGURA 2 - Intercalação das áreas de pasto com a vegetação de caatinga. Localidade vilarejo de Malhada Grande - Xique-Xique. Foto: Arquivo do projeto (2019).

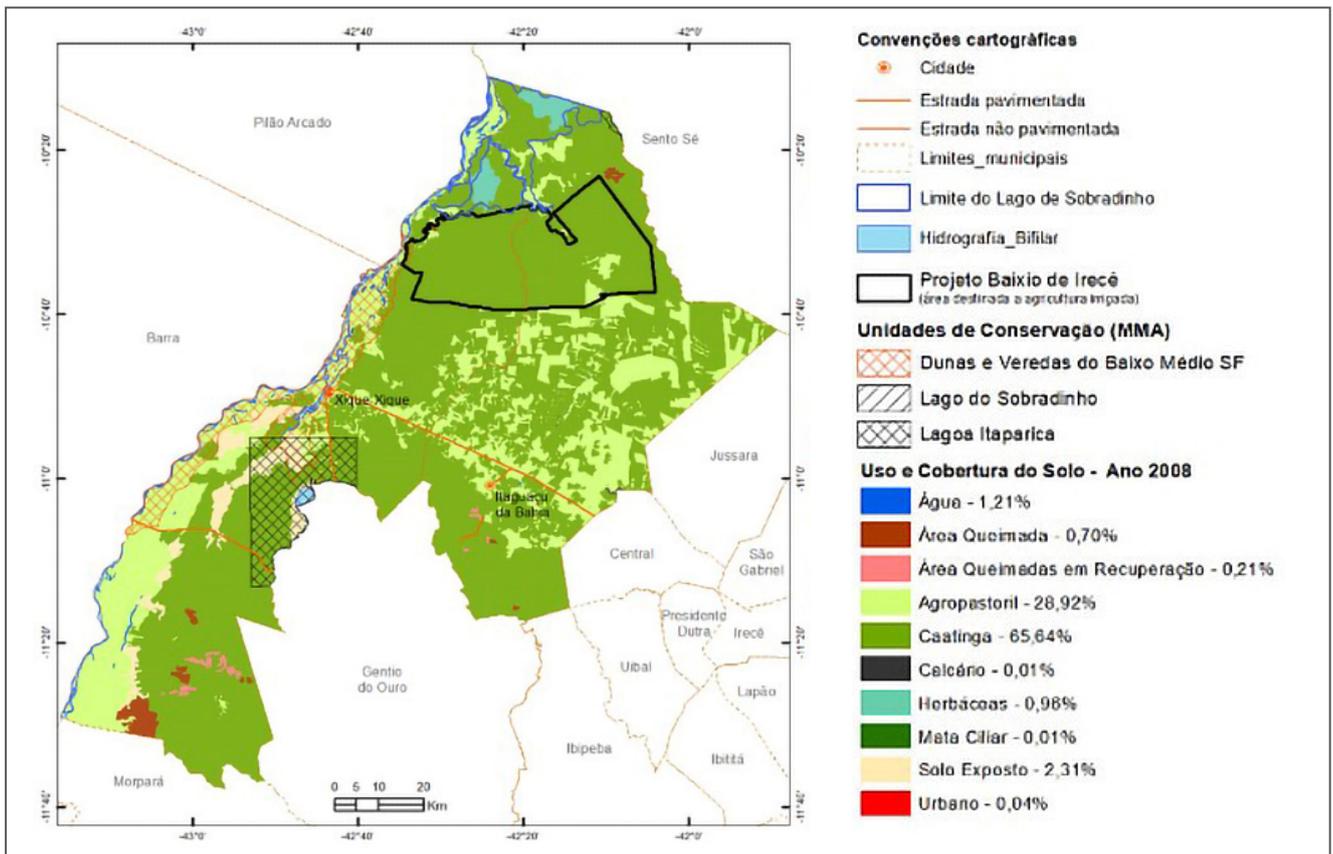


FIGURA 3 - Mapa de Uso e Cobertura do Solo da área do Baixio da Boa Vista – Ano 2008. Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

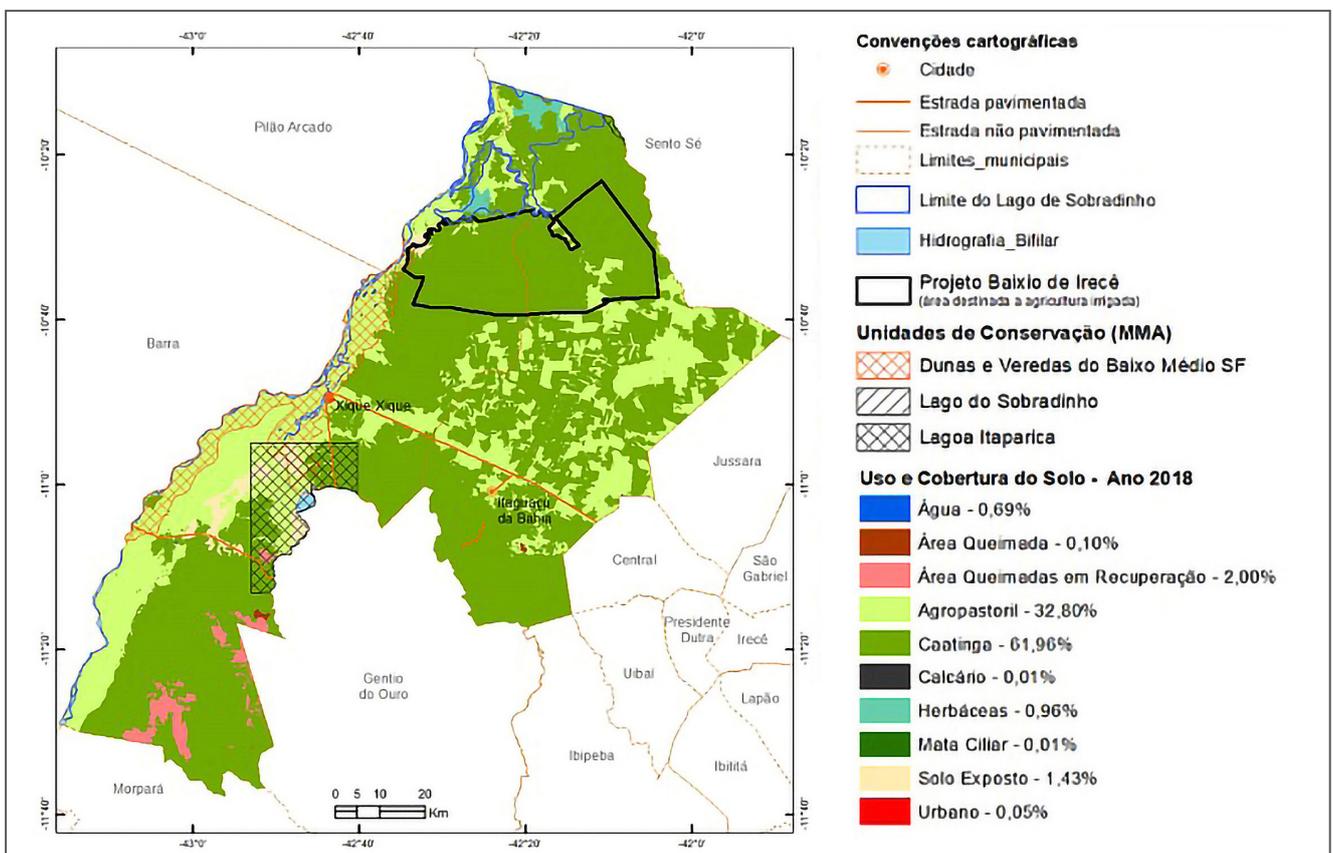


FIGURA 4 - Mapa de Uso e Cobertura do Solo da área do Baixio da Boa Vista – Ano 2018. Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Ao sul da mancha urbana de Xique-Xique é possível observar as maiores áreas de solo exposto, com 2,31% da área para o ano de 2008 e 1,43% para 2018. Estas manchas aparecem, principalmente, associadas às áreas ao longo da estrada onde se localizam os vilarejos do Soê, Alto do Gonçalves, Cabeça do Surubim, Nova Utinga e o povoado Mata do Boi; assim como áreas circundantes à lagoa de Itaparica, no vilarejo do Jacú e de Itaparica.

Duas classes, expondo a mesma atividade, se destacaram nesse trabalho. As classes Áreas Queimadas e Áreas Queimadas em Recuperação. Apesar de não representarem grandes porcentagens, são, na realidade, grandes extensões do bioma da caatinga que sofre com a prática de queimadas. Embora o estudo comparativo tenha sido realizado para os anos de 2008 e 2018, essa prática é bastante regular na área de trabalho, como pode ser visto na figura 5.

As técnicas de sensoriamento remoto possibilitaram a identificação e quantificação das áreas nas quais os incêndios ocorreram na estação, ou ano anterior e onde a caatinga já apresenta sinais de recuperação (anos de 2015 a 2018). As cicatrizes deixadas pelo avanço do fogo são bem características e bem visíveis nas imagens e, portanto, fáceis de identificar, uma vez que é possível ver, até mesmo, a direção do vento.

O monitoramento por imagens de satélite mostra-se, portanto, muito importante não só para diagnosticar essas áreas de queimadas, mas também para contribuir com a defesa do bioma da caatinga. Conforme divulgado no website da Associação Caatinga, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), conseguiu averiguar que o número de incêndios florestais no Brasil cresceu 48,8% de 2018 para 2019. Só a caatinga registrou um crescimento de 32%.

A prática de queimadas na região da área de trabalho é tão regular que, programas governamentais para o combate aos incêndios florestais, como o Prevfogo, criado no âmbito do IBAMA em 2001, implementou, em 2008, o Programa de Brigadas, sediado em municípios notadamente ameaçados por incêndios florestais. Apesar da área de trabalho se encontrar em bioma de caatinga, o município de Xique-Xique foi incluído neste programa, que previu para o ano de 2009, a ampliação das Brigadas em municípios ameaçados por incêndios, como pode ser visto no Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado (BRITO; GUILLO; KRACHECKE, 2009).

A figura 6 ilustra o registro da classe Áreas Queimadas em Recuperação na região dos lençóis de areia das superfícies aplainadas no extremo sul do município de Xique-Xique. É possível observar a vegetação sadia, já em estágio avançado de recuperação pós queimada.

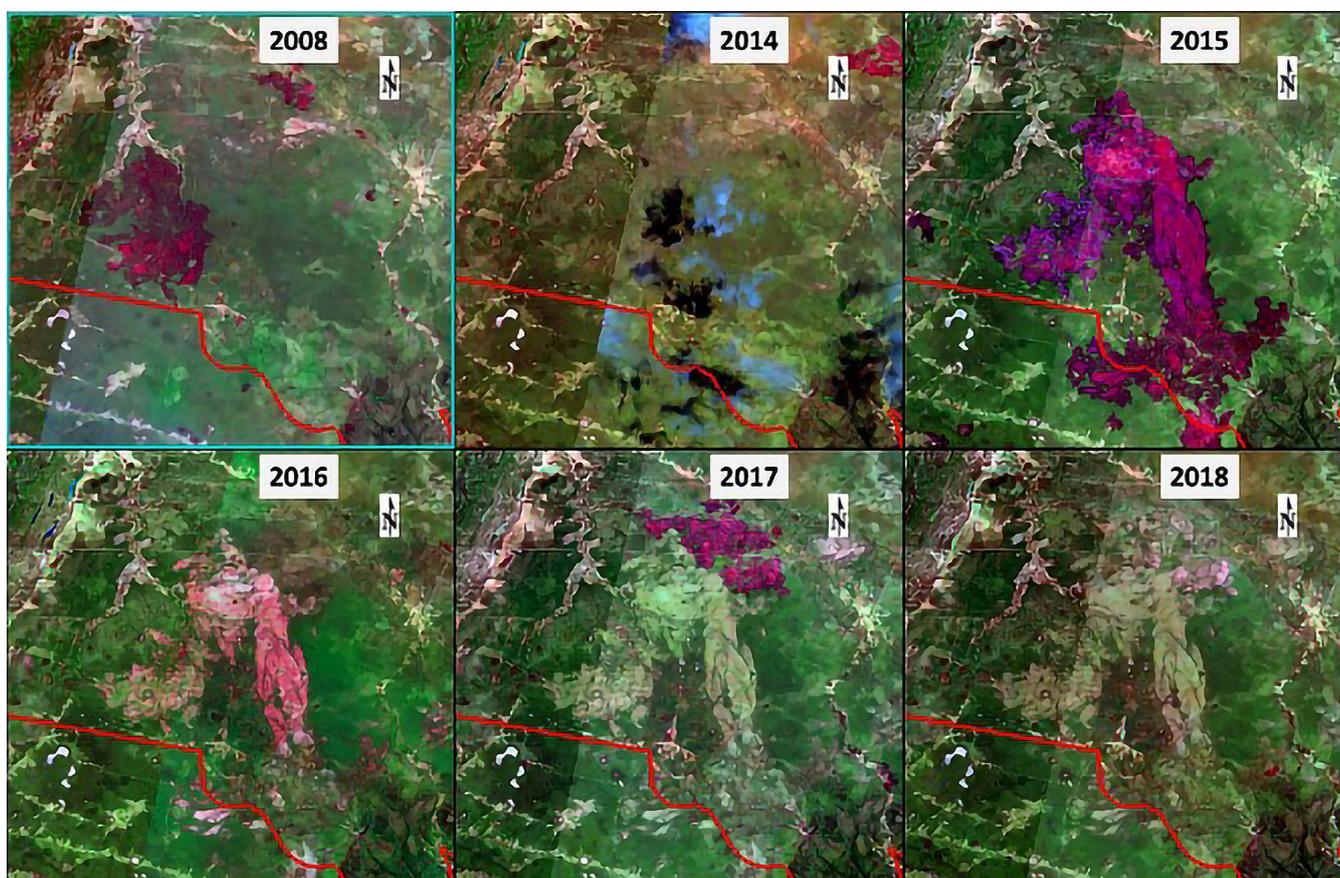


FIGURA 5 - Registro recorrente de queimadas no extremo sul do município de Xique-Xique (BA). Localidade extremo sul do município de Xique-Xique. Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

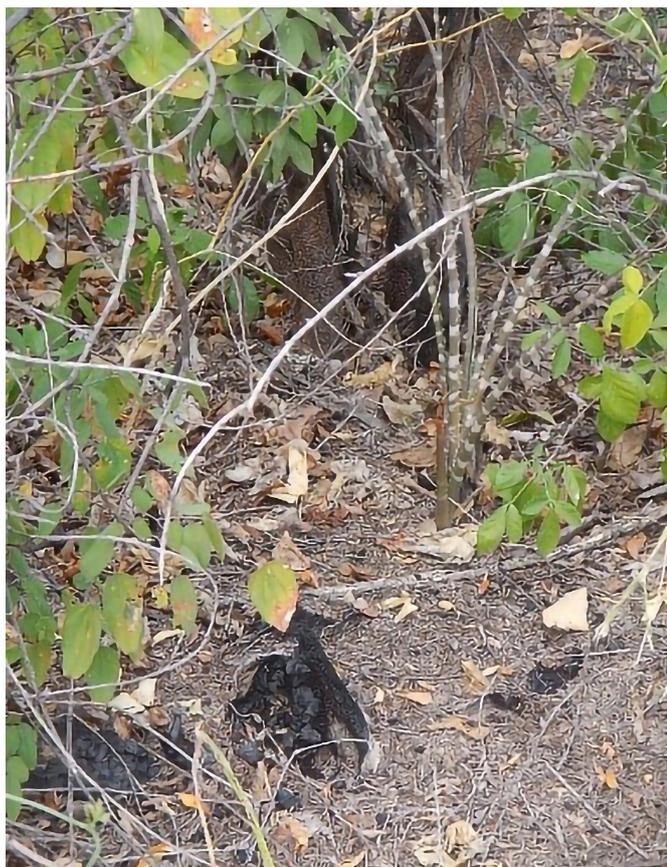


FIGURA 6 - Registro de incêndio nas áreas de lençóis de areia das superfícies aplainadas. Localidade a 10 km do povoado de Copixaba - Xique-Xique. Foto: Arquivo do projeto (2019).

CONCLUSÃO

As imagens do Satélite LANDSAT 8 permitiram o mapeamento do uso e cobertura do solo do Baixio da Boa Vista e serviram como instrumentos de avaliação da paisagem, além de fornecerem um banco de dados para a classificação supervisionada e para futuros planejamentos nessa área.

O método de classificação utilizado se mostrou muito eficiente para a identificação das distintas classes temáticas nesta escala de trabalho, mesmo levando em conta os ajustes manuais. É notável uma ampla cobertura antrópica da área, relacionada às atividades agropastoris, que ocupam quase um terço do território estudado. Ainda preservando 60% da vegetação nativa, a classe Caatinga se estende nas regiões dos lençóis arenosos, no extremo sul da área de estudo, na porção que recobre a Serra de Santo Inácio e na área destinada ao projeto de irrigação Baixio de Irecê e adjacências.

O estudo comparativo de Uso e Cobertura do Solo, para os anos de 2008 e 2018 ilustrou o avanço da pecuária extensiva e das atividades agropastoris, e como esta vem tomando o espaço da caatinga. Este avanço pode ser visto mais nitidamente em áreas próximo à Lagoa de

Itaparica, no município de Xique-Xique, e nas superfícies aplainadas no município de Itaguaçu da Bahia, assim como ao longo da BA-052.

As áreas de solo exposto ocorrem principalmente nas planícies de inundação e representam cascalheiras e pastagens abandonadas e áreas de queimadas. É comum nestas áreas a presença de marcas de erosão superficial, provocada pela ausência da vegetação e agravada pela qualidade arenosa dos solos.

Embora não tenha sido feito estudo histórico, a diminuta ocorrência de matas ciliares mostra o avanço antrópico nesta região e chama a atenção para a necessidade de sua preservação, uma vez que são grandemente responsáveis pela manutenção das nascentes e por evitar o assoreamento dos rios. São, portanto, de vital importância para a região, que já sofre com os efeitos de longos períodos de estiagem.

Por fim, sugere-se que, para fins de monitoramento e demais estudos, incluindo os de áreas queimadas, sejam feitas análises históricas de maior detalhe. Diante disso, o estudo de Uso e Cobertura do Solo do Baixio da Boa Vista, como diagnóstico das atividades antrópicas, pode contribuir muito para as futuras práticas de gestão.

REFERÊNCIAS

- BRITO, M. C. W.; GUILLO, V. A.; KRAKHECKE, E. **Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas no cerrado** - PPCerrado. 2009.
- GOMES, B. S.; AMORIM, A. N.; OLIVEIRA, C. R. M. Reflorestamento de áreas da Caatinga no território de identidade de Irecê. *In*: CONGRESSO NACIONAL DA DIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO, 2018. **Anais** [...]. Campina Grande: Realize Editora, 2018. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/50460>. Acesso em: 11 mar. 2020.
- HARRIS GEOSPATIAL SOLUTIONS. **Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes - FLAASH**. [Soluções de PDI para o *Software* ENVI]. 2019. Disponível em: <https://www.l3harrisgeospatial.com/docs/FLAASH.html>. Acesso em: 11 mar. 2020.
- IBGE. **Censo do município de Itaguaçu da Bahia**. [2018a]. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/itaguacu-da-bahia/panorama>. Acesso em: 11 mar. 2020.
- IBGE. **Censo do município de Xique-Xique**. [2018b]. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/xique-xique/panorama>. Acesso em: 11 mar. 2020.
- JONES, H. G.; VAUGHAN, R. A. **Remote sensing of vegetation**: principale, techniques and applications. New York: Oxford University Press, 2010.
- MACÊDO, L. R. L. **Dinâmica Socioprodutiva de territórios susceptíveis à desertificação no estado da Bahia**: o caso

de Irecê. 2010. 176 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Terra e do Ambiente) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2010.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3 atual. e amp. Viçosa - MG: UFV, 2005. v. 1.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2008.

RUJOIU-MARE, M.-R.; MIHAI, B.-A. Mapping land cover using remote sensing data and GIS techniques: a case study of Prahova Subcarpathians. **Procedia Environmental Sciences**, v. 32, p. 244–255, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.03.029>

USGS. **Earth Explorer**. [Download de imagens orbitais]. 2019. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 11 mar. 2019.



**SERVIÇO GEOLÓGICO
DO BRASIL – CPRM**

SECRETARIA DE
GEOLOGIA, MINERAÇÃO
E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



**PÁTRIA AMADA
BRASIL**
GOVERNO FEDERAL