



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

FERNANDO MENDES BARCELOS SEGUNDO

"VULNERABILIDADE DE CONSTRUÇÕES EM ÁREAS DE RISCO: Análise dos
Impactos e Estratégias de Mitigação Frente aos Deslizamentos de Terra"

SÃO LUÍS/ MA

2026

FERNANDO MENDES BARCELOS SEGUNDO

"VULNERABILIDADE DE CONSTRUÇÕES EM ÁREAS DE RISCO: Análise dos
Impactos e Estratégias de Mitigação Frente aos Deslizamentos de Terra"

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade
Federal do Maranhão, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Bacharel no Curso de Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. George Fernandes Azevedo

SÃO LUÍS – MA

2026

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Barcelos Segundo, Fernando Mendes.

"Vulnerabilidade de Construções em Áreas de Risco:
Análise dos Impactos e Estratégias de Mitigação Frente aos
Deslizamentos de Terra" / Fernando Mendes Barcelos
Segundo. - 2026.
55 p.

Orientador(a): Prof. Dr George Fernandes Azevedo.
Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do
Maranhão, São Luis -ma, 2026.

1. Deslizamentos de Terra. 2. Vulnerabilidade
Geotécnica. 3. Engenharia Civil. I. Fernandes Azevedo,
Prof. Dr George. II. Título.

FERNANDO MENDES BARCELOS SEGUNDO

"VULNERABILIDADE DE CONSTRUÇÕES EM ÁREAS DE RISCO: Análise dos
Impactos e Estratégias de Mitigação Frente aos Deslizamentos de Terra"

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade
Federal do Maranhão, como parte dos requisitos para obtenção
do título de Bacharel no Curso de Engenharia Civil.

Aprovado em 15 de julho de 2026

Nota: _____

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. George Fernandes Azevedo
Universidade Federal do Maranhão – UFMA

Prof. Me. Fábio Dieguez Barreiro Mafra
Universidade Federal do Maranhão – UFMA

Profa. Dra. Ana Beatriz Pereira Segadilha dos Santos
Universidade Federal do Maranhão – UFMA

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por todas as bênçãos que tem derramado sobre mim e por me acompanhar e proteger por onde vou.

À minha esposa, Milena Matos Ramos, que sempre me apoiou e incentivou.

Ao professor orientador, Dr. George Fernandes Azevedo, pela paciência, confiança, disponibilidade e por ter acreditado em mim até o último instante, tornando possível a realização deste trabalho. Expresso minha admiração, gratidão e respeito.

RESUMO

Os deslizamentos de terra representam um dos principais riscos geotécnicos em áreas urbanas brasileiras, causando impactos sociais, econômicos e ambientais significativos. No município de São Luís, Maranhão, a combinação entre características geológicas, elevada precipitação pluviométrica e ocupação inadequada do solo contribui para o aumento da vulnerabilidade das construções localizadas em áreas suscetíveis a movimentos de massa. O presente trabalho teve como objetivo analisar a vulnerabilidade das construções em áreas de risco de deslizamentos de terra, identificando os principais fatores associados à instabilidade das encostas e discutindo estratégias de mitigação aplicáveis ao contexto urbano. A pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza aplicada, com abordagem qualitativa e quantitativa, desenvolvido por meio de revisão bibliográfica e análise documental de normas técnicas, legislações e publicações científicas relacionadas ao tema. Os resultados evidenciaram que fatores como drenagem inadequada, ocupação irregular, remoção da cobertura vegetal e ausência de planejamento urbano contribuem significativamente para o aumento dos riscos geotécnicos. Verificou-se ainda que a aplicação das normas técnicas da engenharia civil, associada à implementação de políticas públicas preventivas e ações de monitoramento, constitui importante instrumento para a redução da vulnerabilidade e para a promoção da segurança das populações expostas. Conclui-se que a mitigação dos deslizamentos de terra depende da integração entre soluções de engenharia, planejamento territorial e gestão pública, visando à construção de cidades mais seguras e resilientes.

Palavras-chave: Deslizamentos de terra. Vulnerabilidade geotécnica. Engenharia Civil.

ABSTRACT

Landslides represent one of the main geotechnical hazards affecting Brazilian urban areas, causing significant social, economic and environmental impacts. In the municipality of São Luís, Maranhão, the combination of geological characteristics, intense rainfall and inadequate land occupation contributes to the increased vulnerability of buildings located in areas susceptible to mass movements. This study aimed to analyze the vulnerability of constructions in landslide-prone areas, identifying the main factors associated with slope instability and discussing mitigation strategies applicable to the urban context. The research is characterized as an applied study with a qualitative and quantitative approach, developed through a literature review and documentary analysis of technical standards, legislation and scientific publications related to the subject. The results showed that factors such as inadequate drainage, irregular occupation, removal of vegetation cover and lack of urban planning significantly contribute to the increase of geotechnical risks. It was also found that the application of civil engineering technical standards, combined with preventive public policies and monitoring actions, constitutes an important tool for reducing vulnerability and improving the safety of exposed populations. It is concluded that landslide mitigation depends on the integration of engineering solutions, territorial planning and public management aimed at building safer and more resilient cities.

Keywords: Landslides. Geotechnical vulnerability. Civil engineering.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- ÁREA ATINGIDA PELOS DESLIZAMENTOS OCORRIDOS EM PETRÓPOLIS (RJ) DURANTE AS CHUVAS DE FEVEREIRO DE 2022.....	26
FIGURA 2 - ÁREA ATINGIDA PELOS DESLIZAMENTOS OCORRIDOS EM PETRÓPOLIS (RJ) DURANTE AS CHUVAS DE FEVEREIRO DE 2022.....	27
FIGURA 3 - ENCOSTAS URBANAS EM RECIFE (PE), EVIDENCIANDO ÁREAS SUSCETÍVEIS A DESLIZAMENTOS E INTERVENÇÕES DE ESTABILIZAÇÃO.	28
FIGURA 4 - ÁREA DE RISCO NO MUNICÍPIO DE SÃO LUÍS (MA), EVIDENCIANDO OCUPAÇÃO EM ENCOSTA E SUSCETIBILIDADE A PROCESSOS EROSIVOS E DESLIZAMENTOS.	29
FIGURA 5 - ÁREA DE RISCO NO MUNICÍPIO DE SÃO LUÍS (MA), EVIDENCIANDO OCUPAÇÃO EM ENCOSTA E SUSCETIBILIDADE A PROCESSOS EROSIVOS E DESLIZAMENTOS.	30
FIGURA 6 - ÁREA DE RISCO NO MUNICÍPIO DE SÃO LUÍS (MA), EVIDENCIANDO OCUPAÇÃO EM ENCOSTA E SUSCETIBILIDADE A PROCESSOS EROSIVOS E DESLIZAMENTOS.	30
FIGURA 7 - CHUVAS NO BAIRRO COROADINHO NO MUNICÍPIO DE SÃO LUÍS (MA).	35
FIGURA 8 - DESLIZAMENTOS NO BAIRRO COROADINHO NO MUNICÍPIO DE SÃO LUÍS (MA).....	36
FIGURA 9 - DESLIZAMENTOS NO BAIRRO VILA EMBRATEL NO MUNICÍPIO DE SÃO LUÍS (MA)...	37
FIGURA 10 - DESLIZAMENTOS NO BAIRRO VILA EMBRATEL NO MUNICÍPIO DE SÃO LUÍS (MA).	38
FIGURA 11 - DESLIZAMENTOS NO BAIRRO SCAVÉM NO MUNICÍPIO DE SÃO LUÍS (MA).	39
FIGURA 12 - CORTE DE ENCOSTA SEM CRITÉRIOS TÉCNICOS, SOLO EXPOSTO, OCUPAÇÃO PRÓXIMA AO TALUDE E POTENCIAL RISCO DE DESLIZAMENTO.	42
FIGURA 13 - EXEMPLOS DE DEFICIÊNCIA DOS SISTEMAS DE DRENAGEM EM ÁREAS DE ENCOSTA, EVIDENCIANDO PROCESSOS EROSIVOS, ESCOAMENTO SUPERFICIAL DESCONTROLADO E DEGRADAÇÃO DAS CONDIÇÕES GEOTÉCNICAS DO TERRENO.	43

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO E DOCUMENTAL PARA A PESQUISA	33
QUADRO 2 – SITUAÇÃO DE RISCO E CARACTERIZAÇÃO DOS BAIRROS DE SÃO LUÍS, MARANHÃO	34
QUADRO 3 - DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA EM SÃO LUÍS (MA) DA NORMAL CLIMATOLÓGICA DE SÃO LUÍS (1991–2020).	40

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ART – Anotação de Responsabilidade Técnica

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

CREA – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

NBR – Norma Brasileira

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU – Organização das Nações Unidas

PMRR – Plano Municipal de Redução de Risco

PNPDEC – Política Nacional de Proteção e Defesa Civil

SEDEC – Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil

SINPDEC – Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil

UFMA – Universidade Federal do Maranhão

UNDRR – *United Nations Office for Disaster Risk Reduction* (Escritório das Nações Unidas para Redução do Risco de Desastres)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1 Deslizamento de terra: conceitos, tipos e causas.....	15
2.2 Gestão de riscos e políticas públicas (Lei nº 12.608/2012 e Marco de Sendai).....	18
2.3 Normas técnicas da engenharia civil.....	21
2.4 Estudos de caso no Brasil.....	25
2.4.1 O caso de Petrópolis (RJ): colapso estrutural e falhas de gestão	25
2.4.2 O caso de Recife (PE): vulnerabilidade em encostas urbanas e soluções integradas	27
2.4.3 O caso de São Luís (MA): desafios relacionados à ocupação urbana e à drenagem	28
2.4.4 Análise comparativa e lições aprendidas	31
3 METODOLOGIA	31
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	33
4.1 Vulnerabilidade das construções em áreas de risco no município de São Luís.....	33
4.1.1 Bairro Coroadinho	35
4.1.2 Bairro Vila Embratel	37
4.1.3 Bairro Sacavém.....	38
4.2 Principais fatores associados aos deslizamentos de terra.....	39
4.3 Estratégias de mitigação aplicáveis ao município de São Luís.....	43
5 CONTRIBUIÇÕES DA ENGENHARIA CIVIL E DAS POLÍTICAS PÚBLICAS PARA A REDUÇÃO DOS RISCOS.....	45
6 CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

Os deslizamentos de terra figuram entre os desastres geotécnicos mais recorrentes e devastadores em áreas urbanas e rurais do Brasil, resultando em perdas humanas, materiais e ambientais expressivas. Segundo dados do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN, 2022), o país registra, em média, mais de 2.000 ocorrências de escorregamentos por ano, afetando especialmente regiões onde predominam ocupações irregulares e ausência de infraestrutura de drenagem e contenção. Esses eventos são agravados por fatores naturais, como o regime de chuvas intensas, e por fatores antrópicos, como o crescimento urbano desordenado e o uso inadequado do solo.

No contexto brasileiro, a expansão urbana acelerada, aliada à falta de planejamento territorial, contribui significativamente para o aumento da vulnerabilidade socioambiental. Muitas comunidades se instalam em encostas e áreas de risco, atraídas pela proximidade dos centros urbanos e pela ausência de alternativas habitacionais seguras (SANTOS; FERREIRA; LIMA, 2022). Nesses locais, as construções, frequentemente erguidas sem acompanhamento técnico, são particularmente suscetíveis à instabilidade do solo, à erosão e à saturação provocada por chuvas torrenciais. Essa realidade reflete a desigualdade estrutural das cidades brasileiras e a fragilidade da política habitacional, que não consegue garantir moradia digna e segura para todas as faixas da população.

Em São Luís do Maranhão, o problema dos deslizamentos de terra é uma preocupação crescente, sobretudo nos períodos chuvosos que se concentram entre os meses de janeiro e maio. A capital maranhense apresenta características geotécnicas específicas que agravam a ocorrência desses fenômenos, tais como solos argilosos sedimentares, alta declividade em determinados bairros e regime pluviométrico intenso (SILVA, 2022). De acordo com o Relatório Anual da Defesa Civil de São Luís (2023), os bairros do Coroadinho, Sá Viana, Sacavém e Vila Embratel estão entre as áreas mais afetadas, com registros de deslizamentos que ocasionaram perdas materiais e deslocamento de famílias. Esses eventos, que se repetem anualmente, revelam um padrão de vulnerabilidade estrutural e social que exige atenção por parte do poder público e da engenharia civil.

A relevância do tema demonstra a necessidade urgente de compreender as causas e consequências desses deslizamentos, bem como o desenvolvimento de estratégias técnicas e políticas eficazes de mitigação. A engenharia civil desempenha papel essencial nesse processo, uma vez que é responsável pelo estudo e pela aplicação de técnicas de estabilização de encostas, drenagem pluvial, fundações seguras e contenção de taludes. Conforme destacam Magnoni Júnior et al. (2020), o domínio da geotecnia e da mecânica dos solos permite projetar soluções

capazes de reduzir significativamente o risco de colapso estrutural em áreas inclinadas. Além disso, o emprego de práticas sustentáveis, como a revegetação de encostas e o uso de geossintéticos, tem se mostrado eficaz na prevenção de escorregamentos e na recuperação de áreas degradadas.

Os deslizamentos de terra em São Luís, além de provocarem danos materiais, têm consequências socioeconômicas e ambientais expressivas. As famílias atingidas geralmente pertencem a grupos de baixa renda, vivendo em moradias precárias e em terrenos instáveis, o que agrava a vulnerabilidade social e econômica (MAGNONI JÚNIOR et al., 2020). O deslocamento forçado dessas populações acarreta desestruturação comunitária, perda de vínculos territoriais e sobrecarga aos serviços públicos. Além disso, os custos de recuperação de áreas afetadas e de reassentamento de moradores são elevados, o que demonstra a necessidade de uma política de prevenção mais eficaz.

A gestão de riscos geotécnicos tem evoluído de uma abordagem reativa, centrada na resposta a desastres, para uma abordagem preventiva e integrada. O Marco de Sendai para Redução do Risco de Desastres 2015–2030, estabelecido pelo United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR, 2015), reforça a importância da redução da vulnerabilidade e do fortalecimento da resiliência comunitária. Esse documento define quatro prioridades estratégicas: (1) compreensão dos riscos de desastres, (2) fortalecimento da governança do risco, (3) investimento na redução de riscos para resiliência e (4) aprimoramento da preparação e recuperação pós-eventos. No contexto nacional, a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), instituída pela Lei nº 12.608/2012, alinha-se a esses princípios, determinando que estados e municípios elaborem planos de redução de risco e incorporem a gestão de desastres ao planejamento urbano (BRASIL, 2012).

Entretanto, apesar dessas diretrizes legais e técnicas, a implementação prática em cidades como São Luís ainda é limitada. A falta de integração entre os setores de planejamento urbano, habitação e infraestrutura, somada à escassez de recursos financeiros, compromete a efetividade das políticas de mitigação. Cavalcante e Souza (2023) apontam que a maioria dos municípios nordestinos carece de um sistema estruturado de monitoramento de encostas e de equipes técnicas capacitadas para atuar na prevenção de desastres.

Do ponto de vista técnico, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabelece diretrizes fundamentais para o planejamento e execução de construções seguras em áreas de risco. A NBR 11682:2009 define os procedimentos para análise da estabilidade de encostas, enquanto a NBR 6122:2019/Em1:2022 orienta o projeto e execução de fundações em terrenos de características diversas (ABNT, 2009; 2022). O cumprimento rigoroso dessas

normas é indispensável para reduzir o risco de colapsos estruturais e de movimentos de massa. Contudo, em muitas áreas periféricas, as edificações são realizadas sem acompanhamento técnico, o que compromete diretamente a segurança das construções e de seus ocupantes (OLIVEIRA; SOUSA, 2021). A ausência de fiscalização e o custo elevado de soluções técnicas também dificultam a aplicação dessas normas em comunidades de baixa renda.

Além dos aspectos técnicos e legais, o problema dos deslizamentos deve ser analisado à luz da sustentabilidade urbana e da justiça socioambiental. As áreas mais afetadas por esses eventos coincidem frequentemente com zonas de exclusão social, onde o poder público é menos presente e as políticas de infraestrutura são insuficientes. Assim, o enfrentamento dos deslizamentos de terra não pode se restringir à engenharia, mas deve integrar-se a políticas de habitação, meio ambiente e assistência social (SILVA; ALMEIDA; GOMES, 2020). Essa abordagem interdisciplinar permite compreender os desastres não apenas como eventos naturais, mas como expressões de desigualdade e de vulnerabilidade estrutural.

Diante desse panorama, este trabalho busca analisar de forma crítica e técnica a vulnerabilidade das construções em áreas de risco de deslizamentos de terra em São Luís do Maranhão com base em documentos técnicos, identificando os principais fatores que contribuem para a instabilidade geotécnica e propondo estratégias de mitigação. O estudo fundamenta-se na integração entre engenharia civil, planejamento urbano e políticas públicas, buscando compreender como a aplicação de normas técnicas e a adoção de medidas preventivas podem minimizar os impactos socioeconômicos e ambientais desses eventos.

O objetivo geral da pesquisa é analisar e compilar informações obtidas por meio da revisão bibliográfica e de dados técnicos fornecidos por órgãos de gestão de risco, com o propósito de compreender a vulnerabilidade estrutural das construções e apresentar estratégias eficazes para a mitigação dos deslizamentos de terra. Entre os objetivos específicos estão:

- a) Compilar e analisar informações de relatórios técnicos e pesquisas científicas;
- b) Avaliar a efetividade das técnicas construtivas utilizadas em áreas de risco;
- c) Correlacionar os dados obtidos com as diretrizes de mitigação reconhecidas, formulando recomendações para a engenharia civil e para políticas públicas.

A relevância científica deste estudo reside em sua contribuição para a consolidação de uma forma de análise que una conhecimento técnico e responsabilidade social. A pesquisa pretende demonstrar que a prevenção de desastres depende tanto da aplicação rigorosa de normas de engenharia quanto da construção de políticas urbanas inclusivas. Ao propor diretrizes baseadas em evidências, este trabalho pode servir de subsídio para gestores municipais,

engenheiros, planejadores urbanos e demais profissionais envolvidos na mitigação de riscos geotécnicos.

Por fim, a estrutura deste trabalho está organizada em seis capítulos. Após esta introdução, o Capítulo 2 apresenta o referencial teórico, abordando os conceitos, as causas e as classificações dos deslizamentos, bem como a legislação e as normas técnicas aplicáveis. O Capítulo 3 descreve a metodologia adotada, detalhando as etapas de revisão bibliográfica, análise documental e levantamento de dados secundários. O Capítulo 4 apresenta e discute os resultados, examinando as informações coletadas e as estratégias de mitigação. O Capítulo 5 analisa as contribuições da engenharia civil e das políticas públicas para a redução dos riscos. Por fim, o Capítulo 6 reúne as conclusões e recomendações do estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Deslizamento de terra: conceitos, tipos e causas

Os movimentos de massa constituem um dos processos geotécnicos mais complexos e destrutivos que afetam o meio físico e as áreas urbanizadas. Esses fenômenos são caracterizados pelo deslocamento de solo, rocha ou detritos encosta abaixo, impulsionados principalmente pela gravidade, e resultam da perda de equilíbrio entre as forças resistentes e as forças atuantes no terreno (VARGAS, 2010). Quando o esforço cisalhante supera a resistência ao cisalhamento do solo, a estrutura geotécnica entra em colapso, desencadeando o movimento. Essa instabilidade pode ocorrer de forma lenta e progressiva, com pequenas deformações perceptíveis, ou de modo rápido e catastrófico, resultando em grandes volumes de material deslocado, destruição de edificações e, frequentemente, vítimas fatais (MASSAD, 2008).

No contexto brasileiro, os movimentos de massa são intensificados pela conjugação de fatores naturais e antrópicos. Do ponto de vista natural, as condições geológicas, geomorfológicas e climáticas do território nacional favorecem a ocorrência desses fenômenos, especialmente em regiões tropicais úmidas, onde predominam solos lateríticos, altamente suscetíveis à saturação por chuvas intensas (LIBERATI et al., 2019). Sob o ponto de vista antrópico, a urbanização acelerada e a ocupação irregular de encostas sem o devido planejamento técnico representam as principais causas de deslizamentos em áreas habitadas. De acordo com o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN, 2022), mais de 90% dos eventos de movimentos de massa registrados no país

estão diretamente relacionados a interferências humanas, como cortes em encostas, ausência de drenagem e remoção da cobertura vegetal.

Conceitualmente, os deslizamentos de terra fazem parte do conjunto dos movimentos de massa, que englobam outros tipos de instabilidade, como escorregamentos, rastejos, fluxos de detritos e quedas de blocos. De acordo com Cruden e Varnes (1996), a classificação desses movimentos deve considerar o tipo de material envolvido (solo, rocha ou mistura de ambos) e a natureza do movimento (translacional, rotacional, fluxo ou queda). No caso dos deslizamentos translacionais, a ruptura ocorre ao longo de uma superfície aproximadamente plana, e o corpo de solo se desloca em blocos, mantendo sua estrutura relativamente intacta. Já nos escorregamentos rotacionais, o plano de ruptura é curvo, e o material sofre uma rotação durante o movimento, característica comum em solos coesivos saturados. Os fluxos de detritos, por sua vez, são movimentos mais rápidos e fluidos, compostos por misturas de água, solo e fragmentos rochosos, típicos de encostas com grande acúmulo de material inconsolidado (MASSAD, 2008; CAVALCANTE; SOUZA, 2023).

O fator determinante para o início de um deslizamento é o desequilíbrio entre forças resistentes (fornecidas pelas componentes de coesão e atrito interno do solo) e forças atuantes (peso próprio do solo, saturação por água e sobrecargas). Quando a resistência ao cisalhamento diminui devido ao aumento da pressão neutra no interior dos poros do solo, o fator de segurança cai, podendo atingir valores inferiores a unidade, o que indica a iminência da ruptura (VARGAS, 2010). A NBR 11682:2009 (ABNT, 2009) estabelece procedimentos para avaliar a estabilidade de encostas, prevendo que o fator de segurança mínimo recomendado deve ser de 1,5 para condições estáveis e 1,3 para condições críticas, considerando a influência das chuvas e das características geotécnicas do material.

Entre as principais causas naturais dos deslizamentos de terra, destacam-se as chuvas intensas e prolongadas, que provocam a saturação do solo e reduzem sua resistência ao cisalhamento. No Brasil, especialmente nas regiões Norte e Nordeste, o regime pluviométrico é marcado por grandes volumes concentrados em curtos períodos, o que aumenta a infiltração e a pressão neutra, favorecendo o rompimento dos taludes (SILVA, 2022). Além da precipitação, a declividade acentuada, a litologia e a presença de descontinuidades estruturais nas rochas também contribuem para a instabilidade geotécnica (SILVA; ALMEIDA; GOMES, 2020). Em encostas compostas por materiais inconsolidados, a erosão superficial e o escoamento concentrado de águas pluviais podem desencadear processos de solapamento e colapso da base do talude, gerando o movimento de massa.

Em São Luís, a configuração dos solos está diretamente relacionada à origem sedimentar da Ilha do Maranhão. Predominam depósitos arenosos e argiloarenosos associados às formações geológicas da região, com ocorrência de camadas de argila de baixa consistência em diversos setores do município. Essas características favorecem a retenção de água durante os períodos de chuva intensa, reduzindo a resistência mecânica do solo e aumentando a suscetibilidade à erosão e aos movimentos de massa em áreas de encosta. Além disso, a ocupação urbana sobre terrenos com essas características, muitas vezes sem estudos geotécnicos prévios ou sistemas adequados de drenagem, contribui para a intensificação dos processos de instabilidade. Assim, a tipologia dos solos de São Luís representa um elemento fundamental para compreender a dinâmica dos deslizamentos e deve ser considerada no planejamento urbano e na definição de medidas preventivas voltadas à segurança das edificações (PEREIRA, 2017).

A tipologia dos solos exerce papel determinante na estabilidade das encostas e na ocorrência de movimentos de massa. De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, as propriedades físicas dos solos, como textura, estrutura, porosidade e permeabilidade, influenciam diretamente a infiltração de água, a resistência ao cisalhamento e o comportamento mecânico dos materiais frente às ações climáticas. Solos com maior teor de argila, por exemplo, tendem a apresentar menor permeabilidade e maior retenção de água, o que pode reduzir sua resistência quando submetidos à saturação durante períodos de chuvas intensas. No contexto de São Luís, onde predominam formações sedimentares e a ocupação urbana alcança áreas suscetíveis à instabilidade, essas características contribuem para aumentar a vulnerabilidade das encostas, sobretudo quando associadas à supressão da cobertura vegetal, à deficiência dos sistemas de drenagem e à ocupação desordenada do solo (EMBRAPA, 2013).

O processo que antecede um deslizamento pode ser dividido em três fases principais: (1) a pré-instabilidade, caracterizada pelo aparecimento de fissuras e pequenos deslocamentos; (2) a instabilidade progressiva, em que o solo apresenta deformações maiores e ocorre a saturação do material; e (3) a ruptura completa, quando o material perde completamente sua coesão e desliza encosta abaixo. A velocidade e a extensão do movimento dependem do tipo de solo, do volume de água infiltrado e da geometria do talude. Esses eventos, quando ocorrem em áreas urbanizadas, afetam não apenas as estruturas físicas, mas também a vida social e econômica das comunidades atingidas.

Além dos aspectos físicos, a ocorrência dos deslizamentos reflete a desigualdade territorial e a fragilidade institucional na gestão urbana. As áreas mais afetadas são, em geral, ocupadas por populações de baixa renda, que constroem suas moradias sem acesso a

infraestrutura adequada e sem orientação técnica (SANTOS; FERREIRA; LIMA, 2022). Assim, a instabilidade geotécnica não deve ser vista apenas como um fenômeno natural, mas como um problema social e político. A vulnerabilidade das encostas é amplificada pela ausência de fiscalização, pela deficiência dos planos diretores municipais e pela insuficiência de programas habitacionais que ofereçam alternativas seguras para famílias em situação de risco (MAGNONI JÚNIOR et al., 2020).

De acordo com o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2021), a intensificação das chuvas extremas nas regiões tropicais, em virtude das mudanças climáticas globais, tende a aumentar a frequência e a gravidade dos deslizamentos de terra nas próximas décadas. Esse cenário reforça a necessidade de estratégias integradas de adaptação e mitigação, que combinem obras de engenharia, monitoramento contínuo e políticas públicas de prevenção. Em São Luís, por exemplo, a elaboração de mapas de risco geotécnico e a instalação de sistemas de drenagem e contenção em áreas críticas são medidas essenciais para reduzir a exposição das comunidades a eventos de colapso.

2.2 Gestão de riscos e políticas públicas (Lei nº 12.608/2012 e Marco de Sendai)

A gestão de riscos de desastres é um campo interdisciplinar que se consolida como instrumento fundamental para reduzir perdas humanas, sociais e econômicas decorrentes de eventos adversos, como os deslizamentos de terra. Nas últimas décadas, a abordagem da gestão de riscos evoluiu de uma postura reativa, voltada apenas para a resposta emergencial, para uma visão proativa e integrada, que busca identificar, prevenir e mitigar as causas estruturais da vulnerabilidade (BRASIL, 2012). Essa mudança de paradigma representa um avanço na forma como os governos e instituições técnicas tratam os desastres, reconhecendo que a prevenção é mais eficaz e menos onerosa do que a reconstrução pós-evento.

O conceito de risco é compreendido como o produto entre a ameaça (ou perigo), a exposição e a vulnerabilidade dos sistemas sociais e ambientais (CARDONA, 2004). Assim, o risco não é apenas resultado de fenômenos naturais, mas da interação entre processos físicos e condições socioeconômicas que determinam o grau de suscetibilidade de uma comunidade. No caso dos deslizamentos, a ameaça é representada pela instabilidade das encostas, a exposição se relaciona à presença de moradias em áreas suscetíveis, e a vulnerabilidade depende da qualidade das construções, da infraestrutura disponível e da capacidade institucional de resposta (CAVALCANTE; SOUZA, 2023). Esse entendimento amplia o foco da engenharia civil, inserindo-a em um contexto de planejamento urbano e políticas públicas, no qual a segurança geotécnica deve ser tratada como um direito social e um dever do Estado.

No Brasil, o marco legal que estrutura a gestão de riscos e desastres é a Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012, que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) e o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC). Essa lei representa um avanço ao integrar a gestão de desastres às políticas de ordenamento territorial, habitação, meio ambiente e recursos hídricos. Entre suas diretrizes fundamentais estão a prevenção e mitigação de desastres, a identificação e o mapeamento das áreas de risco, a incorporação da gestão de risco aos planos diretores municipais e a promoção da educação comunitária para a redução de riscos (BRASIL, 2012). O artigo 3º da referida lei destaca que o poder público deve priorizar ações preventivas, com foco na resiliência das populações e na sustentabilidade das intervenções.

A PNPDEC estabelece que os municípios são os principais responsáveis pela execução das políticas de prevenção e resposta, devendo elaborar os Planos Municipais de Redução de Risco (PMRR), em consonância com o Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais. Esses planos têm como objetivo identificar e hierarquizar áreas suscetíveis a movimentos de massa, inundações e outros eventos geotécnicos, bem como propor medidas estruturais e não estruturais para reduzir a vulnerabilidade. As medidas estruturais incluem obras de engenharia, como drenagens, muros de contenção e estabilização de taludes, enquanto as não estruturais abrangem educação ambiental, reassentamento, fiscalização e fortalecimento institucional (SILVA; ALMEIDA; GOMES, 2020). Entretanto, a implementação desses planos enfrenta obstáculos significativos, como a falta de recursos financeiros, a descontinuidade administrativa e a ausência de integração entre os órgãos públicos.

A Defesa Civil, principal órgão executor dessas políticas em nível local, tem papel estratégico na coordenação das ações de prevenção e resposta. Conforme Acordes (2022) e Queiroz e Pacheco (2022), cabe a esses órgãos e equipes técnicas promover o mapeamento das áreas de risco, acompanhar eventos meteorológicos e geotécnicos e mobilizar a população em situações emergenciais. Contudo, grande parte das defesas civis municipais, especialmente nas cidades médias e pequenas, funciona com equipes reduzidas e infraestrutura limitada, o que compromete a eficiência das ações. Essa realidade também se observa em São Luís, onde os levantamentos e as campanhas educativas precisam ser acompanhados por obras permanentes de drenagem, contenção e manutenção das encostas (ACORDES, 2022; QUEIROZ; PACHECO, 2022).

No cenário internacional, o principal instrumento orientador da gestão de riscos é o Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015–2030, aprovado pela Organização das Nações Unidas (UNDRR, 2015). Esse documento estabelece quatro prioridades estratégicas: (1) compreender o risco de desastres; (2) fortalecer a governança para o

gerenciamento do risco; (3) investir na redução do risco para resiliência; e (4) aprimorar a preparação e a recuperação pós-desastre (UNDRR, 2015). O Marco de Sendai reforça a importância da cooperação entre países e da integração das políticas de redução de risco com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis, que propõe tornar as cidades inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis até 2030.

A principal contribuição do Marco de Sendai está em reconhecer que os desastres não são eventos isolados, mas consequências de processos de desenvolvimento não planejados e desiguais. Assim, ele propõe uma mudança de foco: do gerenciamento de emergências para a redução das causas estruturais da vulnerabilidade. Essa abordagem é essencial em países como o Brasil, onde os desastres de origem hidrológica e geotécnica são amplamente associados à urbanização precária. Conforme argumentam Oliveira e Sousa (2021), a integração das políticas de engenharia e de planejamento urbano à gestão de risco é indispensável para garantir que as intervenções estruturais sejam eficazes e sustentáveis. O investimento em infraestrutura resiliente pode gerar retorno econômico de até sete vezes o valor aplicado, quando comparado aos custos de reconstrução após um desastre.

No contexto brasileiro, a aplicação do Marco de Sendai e da Lei nº 12.608/2012 ainda enfrenta barreiras significativas. A primeira delas é a falta de articulação entre os níveis federal, estadual e municipal. Muitas cidades não possuem PMRR elaborados ou atualizados, e a ausência de equipes técnicas especializadas dificulta a execução das diretrizes nacionais. Outro desafio é a integração da gestão de risco com o planejamento urbano, uma vez que grande parte dos planos diretores municipais não contempla as áreas de encosta como zonas de atenção especial. Essa lacuna resulta na continuidade das ocupações irregulares e no agravamento da vulnerabilidade (CAVALCANTE; SOUZA, 2023). Além disso, há carência de mecanismos de fiscalização e de atualização dos mapeamentos de risco, o que impede a adoção de medidas preventivas eficazes.

A educação ambiental e comunitária é outro componente essencial da gestão de riscos. O envolvimento das comunidades na identificação e monitoramento das áreas de risco fortalece a governança local e cria uma cultura de prevenção. Segundo Magnoni Júnior et al. (2020), os programas de capacitação e conscientização promovidos em parceria entre universidades e órgãos públicos são fundamentais para o sucesso das estratégias de mitigação.

Neste sentido, a participação das universidades também desempenha papel relevante na gestão de riscos, especialmente por meio de atividades de ensino, pesquisa e extensão voltadas à difusão de conhecimentos técnicos para a sociedade. Essas ações podem incluir cursos,

palestras, oficinas e atividades educativas desenvolvidas em parceria com órgãos públicos e comunidades situadas em áreas suscetíveis a deslizamentos, contribuindo para ampliar a percepção dos riscos, incentivar práticas preventivas e fortalecer a cultura de prevenção. Conforme destacam Magnoni Júnior et al. (2020), a integração entre instituições de ensino, poder público e população favorece a disseminação de conhecimentos técnicos e fortalece as estratégias de mitigação dos riscos geotécnicos.

A engenharia civil desempenha papel central dentro desse arcabouço de políticas, pois traduz as diretrizes legais e conceituais em soluções práticas e mensuráveis. A correta aplicação das normas técnicas, o planejamento de sistemas de drenagem, o dimensionamento de contenções e o controle de erosão são componentes técnicos que materializam a gestão de risco no território. O engenheiro civil, nesse sentido, atua não apenas como projetista de obras, mas como agente de prevenção e promotor de segurança pública. Para que essa função se concretize, é imprescindível que as universidades incorporem em seus currículos conteúdos sobre gestão de risco e sustentabilidade urbana, formando profissionais capazes de compreender o impacto social e ambiental de suas decisões.

Em síntese, a gestão de riscos e desastres, amparada pela Lei nº 12.608/2012 e pelo Marco de Sendai, constitui o eixo estruturante das políticas contemporâneas de redução de vulnerabilidade. Esses instrumentos reforçam que a segurança geotécnica e a resiliência urbana devem ser metas permanentes de planejamento, e não respostas pontuais a tragédias. No caso da cidade de São Luís do Maranhão, a implementação efetiva de um sistema de gestão de risco depende da combinação entre legislação, capacidade técnica, recursos financeiros e participação social. O fortalecimento institucional das defesas civis, a integração entre engenharia e políticas públicas e o investimento em obras de prevenção são caminhos essenciais para transformar o cenário atual de vulnerabilidade em uma perspectiva de segurança e sustentabilidade a longo prazo.

2.3 Normas técnicas da engenharia civil

A aplicação rigorosa das normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é essencial para assegurar a estabilidade e a segurança das construções em áreas de risco, especialmente em terrenos com declividade acentuada e suscetibilidade a deslizamentos. A engenharia civil, como ciência aplicada, depende de parâmetros normativos que orientam as práticas de projeto, execução e controle de obras, garantindo que os empreendimentos sejam realizados conforme critérios de segurança, durabilidade e sustentabilidade. No contexto dos

deslizamentos, duas normas são particularmente relevantes: a ABNT NBR 11682:2009, Estabilidade de Encostas e a ABNT NBR 6122:2019/Em1:2022, Projeto e Execução de Fundações. Essas diretrizes estabelecem procedimentos que, quando corretamente aplicados, reduzem significativamente o risco de rupturas, recalques diferenciais e colapsos estruturais em encostas e terrenos instáveis.

A NBR 11682:2009 trata dos procedimentos técnicos para avaliação da estabilidade de encostas e taludes, sendo aplicável tanto em áreas naturais quanto em cortes e aterros artificiais. Essa norma incorpora avanços científicos e tecnológicos no campo da geotecnia e da mecânica dos solos. Segundo a ABNT (2009), o objetivo principal da norma é orientar a análise, o projeto, a execução e a manutenção de taludes e encostas, com vistas à prevenção de movimentos de massa e à proteção de obras e populações situadas nas proximidades. O documento define conceitos fundamentais, como fator de segurança, estabilidade global, superfície de ruptura e condições de drenagem, e estabelece valores mínimos aceitáveis para o fator de segurança em diferentes situações. Em condições normais, o fator de segurança deve ser igual ou superior a 1,5, e em casos de situação crítica (chuvas intensas ou terrenos saturados), o mínimo aceitável é de 1,3, conforme os parâmetros de análise de equilíbrio limite.

A norma também descreve as etapas do processo de avaliação de estabilidade, que incluem:

- a) Reconhecimento geológico e geotécnico do terreno;
- b) Identificação das características do solo (granulometria, plasticidade, coesão e ângulo de atrito interno);
- c) Determinação das condições hidrogeológicas (nível d'água, permeabilidade e drenagem natural);
- d) Definição da geometria da encosta e análise das cargas externas; e
- e) Escolha do método de cálculo da estabilidade.

Entre os métodos recomendados pela NBR 11682 estão o método de Bishop simplificado, o método de Fellenius e o método de Janbu, amplamente utilizados em análises de equilíbrio limite. Além desses, a norma admite o uso de modelos numéricos baseados em elementos finitos ou diferenças finitas, especialmente quando se trata de terrenos heterogêneos ou obras de grande porte. A NBR 11682 enfatiza ainda a necessidade de monitoramento e manutenção das encostas, destacando que a estabilidade não é uma condição permanente, mas um estado que depende da evolução das condições ambientais e construtivas.

Um dos pontos mais importantes da norma é o tratamento dado às condições de drenagem, reconhecidas como fator determinante para a estabilidade. A infiltração de água no

solo reduz a resistência ao cisalhamento e aumenta a pressão neutra, o que pode levar à ruptura. Por essa razão, a norma exige que todo projeto de encosta ou contenção inclua sistemas eficientes de drenagem superficial (canaletas, sarjetas, escadas hidráulicas) e drenagem profunda (drenos horizontais profundos, drenos de alívio e subdrenos) (OLIVEIRA; SOUSA, 2021). A norma também recomenda o uso de revestimentos vegetais e geossintéticos, que auxiliam no controle da erosão e na manutenção da coesão superficial do solo, contribuindo para a sustentabilidade das intervenções.

Enquanto a NBR 11682 define os parâmetros de estabilidade das encostas, a NBR 6122:2019/Em1:2022 – Projeto e Execução de Fundações complementa o arcabouço técnico ao tratar das interações entre o solo e as estruturas. A estabilidade global de uma obra depende diretamente da capacidade de carga e do comportamento das fundações. A norma estabelece diretrizes para o reconhecimento geotécnico do terreno, a classificação e dimensionamento das fundações e o controle executivo. O reconhecimento deve contemplar sondagens a percussão (SPT), ensaios de campo e de laboratório que permitam determinar os parâmetros de resistência e deformabilidade do solo. A profundidade e a quantidade de sondagens devem ser proporcionais à complexidade da obra e às variações litológicas do local (ABNT, 2019).

De acordo com a NBR 6122, as fundações são classificadas em rasas (ou diretas) e profundas, sendo a escolha dependente da natureza do solo e das cargas atuantes. As fundações rasas, como sapatas e radier, são recomendadas quando as camadas superficiais apresentam resistência suficiente para suportar os esforços da estrutura. Já as fundações profundas, como estacas e tubulões, são aplicáveis em solos moles, saturados ou sujeitos a recalques diferenciais significativos (SILVA; ALMEIDA; GOMES, 2020). Em áreas de encosta, onde as tensões atuam de forma complexa e o lençol freático é elevado, as fundações profundas são frequentemente a solução mais adequada, desde que acompanhadas de sistemas de drenagem e de contenções laterais bem projetadas.

A integração entre a NBR 11682 e a NBR 6122 é fundamental para garantir a segurança global de edificações em áreas de risco. Um projeto de contenção, por exemplo, deve considerar tanto a estabilidade do talude (segundo a NBR 11682) quanto as condições de fundação da estrutura de suporte (de acordo com a NBR 6122). Essa abordagem integrada permite que o engenheiro civil avalie de forma holística a interação entre o solo, as cargas e as condições hidrológicas do terreno. Conforme destaca Costa, Santos e Rodrigues (2019), a negligência em relação a essa integração é uma das principais causas de falhas estruturais em muros de contenção, drenagens e edificações construídas em encostas.

Além das duas normas principais, outras diretrizes complementares devem ser consideradas, como a NBR 8681:2020 (Ações e Segurança nas Estruturas) e a NBR 6492:2021 (Representação de Projetos de Arquitetura), que definem critérios de segurança e detalhamento técnico. A observância conjunta dessas normas reforça o conceito de projeto seguro e sustentável, em que as soluções de engenharia são fundamentadas em dados técnicos e análises quantitativas.

Outro aspecto relevante das normas da ABNT é a responsabilidade técnica. A execução de obras geotécnicas deve ser acompanhada por profissional habilitado e registrada junto ao Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA) por meio da Anotação de Responsabilidade Técnica (ART). Essa exigência garante a rastreabilidade e a responsabilidade civil do profissional em todas as etapas da obra. A ausência de ART é uma das irregularidades mais comuns em construções localizadas em áreas de risco, contribuindo para a ocorrência de acidentes e dificultando a responsabilização posterior (LIBERATI et al., 2019).

Do ponto de vista prático, a aplicação das normas técnicas representa o elo entre a teoria geotécnica e a prevenção de desastres. Em São Luís, por exemplo, falhas frequentes em obras de contenção e drenagem executadas sem observância dos critérios estabelecidos pela NBR 11682 têm sido registradas, o que resultou em rupturas de taludes e danos estruturais em moradias. A adoção dessas normas poderia reduzir substancialmente a vulnerabilidade das construções e aumentar a durabilidade das intervenções. Além disso, o cumprimento das NBRs promove a padronização dos procedimentos de projeto e execução, facilitando o controle de qualidade e a fiscalização das obras públicas e privadas (ACORDES, 2022; QUEIROZ; PACHECO, 2022).

A NBR 11682 também enfatiza a importância das medidas de manutenção e inspeção periódica, que devem ser incluídas no projeto executivo e no plano de operação da obra. A estabilidade das encostas depende da conservação dos sistemas de drenagem, da vegetação e das estruturas de contenção. A ausência de manutenção é uma das principais causas de reativação de processos de instabilidade. Portanto, a sustentabilidade das intervenções depende tanto do projeto inicial quanto da gestão pós-obra, o que reforça a necessidade de planos de manutenção contínuos e de políticas públicas que fiscalizem o cumprimento dessas obrigações.

Por fim, é importante ressaltar que as normas técnicas da engenharia civil, além de estabelecerem critérios de segurança, incorporam princípios de sustentabilidade e responsabilidade social. A correta aplicação da NBR 11682 e da NBR 6122 nas áreas de encosta permite não apenas prevenir desastres, mas também reduzir custos de manutenção, minimizar impactos ambientais e preservar a integridade das comunidades. Como observa Magnoni Júnior

et al. (2020), a engenharia civil contemporânea deve alinhar-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente ao ODS 11, que propõe tornar as cidades mais seguras e resilientes. Dessa forma, o cumprimento das normas técnicas não é apenas uma exigência profissional, mas um compromisso ético e ambiental com a construção de territórios sustentáveis e socialmente justos.

2.4 Estudos de caso no Brasil

A análise de estudos de caso constitui um método essencial para compreender como as causas, os impactos e as estratégias de mitigação dos deslizamentos de terra se manifestam em diferentes contextos do território brasileiro. Esses exemplos permitem avaliar a eficácia das medidas estruturais e não estruturais implementadas, identificar padrões de vulnerabilidade e adaptar soluções a realidades locais, como a de São Luís do Maranhão. A partir da observação de experiências em cidades que enfrentam desafios semelhantes, é possível construir um referencial técnico e social que subsidia políticas públicas e práticas de engenharia voltadas à prevenção de desastres.

Entre as localidades brasileiras mais afetadas por deslizamentos, destacam-se Petrópolis (RJ), Recife (PE) e São Luís (MA), cada uma com particularidades geotécnicas, climáticas e socioeconômicas que influenciam a dinâmica dos movimentos de massa. A comparação entre esses casos permite compreender o papel dos fatores físicos, da gestão pública e da atuação da engenharia civil na mitigação de riscos.

2.4.1 O caso de Petrópolis (RJ): colapso estrutural e falhas de gestão

O município de Petrópolis, localizado na Região Serrana do estado do Rio de Janeiro, constitui um dos casos mais emblemáticos de desastres associados a deslizamentos de terra no Brasil. Em fevereiro de 2022, chuvas extremas provocaram diversos movimentos de massa, resultando em elevado número de vítimas fatais, destruição de edificações e deslocamento de milhares de pessoas (CEMADEN, 2022).

De acordo com análises técnicas realizadas após o evento, os principais fatores associados ao desastre envolveram a elevada intensidade pluviométrica, a ocupação de encostas com alta declividade, a insuficiência de sistemas de drenagem e a presença de construções localizadas em áreas previamente classificadas como suscetíveis a movimentos de massa (IPT, 2022). O caso evidencia que a existência de mapeamentos de risco, por si só, não é suficiente

para evitar tragédias quando não há continuidade das ações preventivas e investimentos permanentes em infraestrutura urbana.

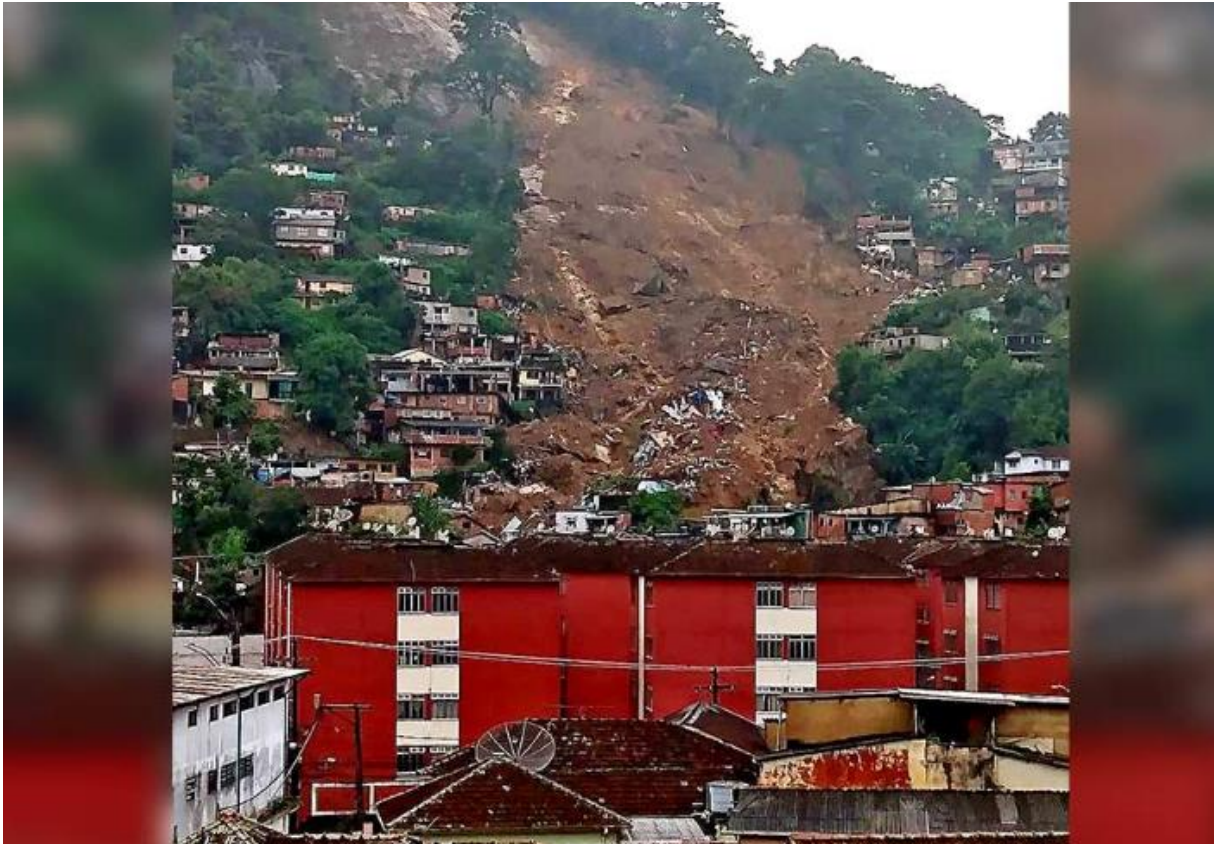
Sob a perspectiva da engenharia civil, Petrópolis demonstra a importância da integração entre planejamento urbano, monitoramento geotécnico e execução de obras de contenção e drenagem. Além disso, reforça a necessidade de fiscalização das ocupações em áreas de risco e da implementação efetiva de políticas públicas voltadas à redução da vulnerabilidade socioambiental. As Figuras 1 e 2 mostram registros de eventos ocorridos em Petrópolis no ano de 2022.

Figura 1- Área atingida pelos deslizamentos ocorridos em Petrópolis (RJ) durante as chuvas de fevereiro de 2022.



Fonte: O diário de Teresópolis (2022). ([Ossada humana achada em Petrópolis pode ser de vítima de chuva de 2022 - O Diário de Teresópolis](#))

Figura 2 - Área atingida pelos deslizamentos ocorridos em Petrópolis (RJ) durante as chuvas de fevereiro de 2022.



Fonte: Jornal da Unicamp (2022). ([Petrópolis: não foi um desastre natural! | Unicamp](#))

2.4.2 O caso de Recife (PE): vulnerabilidade em encostas urbanas e soluções integradas

A cidade de Recife apresenta histórico recorrente de deslizamentos de terra em áreas de morro, especialmente durante os períodos de maior precipitação. A combinação entre relevo acidentado, ocupação irregular e elevada densidade populacional contribui para a formação de cenários de risco em diferentes regiões do município (PMRR, 2020).

Com o objetivo de reduzir a vulnerabilidade dessas áreas, o município desenvolveu ações integradas envolvendo obras de drenagem, estabilização de encostas, revegetação e reassentamento de famílias (Figura 3). Essas medidas foram associadas a programas de educação ambiental e participação comunitária, buscando ampliar a conscientização da população sobre os riscos existentes (SILVA; ALMEIDA; GOMES, 2020).

Figura 3 - Encostas urbanas em Recife (PE), evidenciando áreas suscetíveis a deslizamentos e intervenções de estabilização.



Fonte: Folha de Pernambuco (2021) ([Deslizamento de barreira atinge seis casas no Brejo da Guabiraba, Zona Norte do Recife - Folha PE](#))

A experiência de Recife demonstra que a mitigação dos deslizamentos não depende exclusivamente de intervenções estruturais, mas também da articulação entre políticas públicas, planejamento urbano e participação social. Dessa forma, o município tornou-se uma referência nacional na adoção de estratégias integradas para redução de riscos geotécnicos.

2.4.3 O caso de São Luís (MA): desafios relacionados à ocupação urbana e à drenagem

Em São Luís, os deslizamentos de terra estão associados principalmente à combinação entre chuvas intensas, características geotécnicas dos solos argilosos e ocupação de áreas com infraestrutura insuficiente. As ocorrências concentram-se, sobretudo, em bairros periféricos que apresentam limitações nos sistemas de drenagem e histórico de ocupação irregular (SILVA, 2022; LOUZEIRO, 2022; LOUZEIRO et al., 2022).

Os eventos registrados evidenciam a influência da ação antrópica na ampliação dos riscos geotécnicos, especialmente em locais onde há remoção da cobertura vegetal, lançamento inadequado de águas servidas e ausência de obras permanentes de contenção. Tais fatores contribuem para o aumento da saturação dos solos e para a redução da estabilidade das encostas.

Nesse contexto, o fortalecimento das ações de monitoramento, planejamento urbano e manutenção da infraestrutura de drenagem constitui elemento fundamental para a redução da vulnerabilidade das construções situadas em áreas suscetíveis a movimentos de massa. As Figuras de 4 a 6 apresentam áreas de risco presentes em São Luís.

Figura 4 - Área de risco no município de São Luís (MA), evidenciando ocupação em encosta e suscetibilidade a processos erosivos e deslizamentos.



Fonte: Imparcial (2022) ([Defesa Civil Municipal monitora áreas de risco em São Luís | O Imparcial](#))

Figura 5 - Área de risco no município de São Luís (MA), evidenciando ocupação em encosta e suscetibilidade a processos erosivos e deslizamentos.



Fonte: Zeca Soares (2023) [Prefeitura de São Luís deve retirar moradores de áreas de risco – Zeca Soares](#)

Figura 6 - Área de risco no município de São Luís (MA), evidenciando ocupação em encosta e suscetibilidade a processos erosivos e deslizamentos.



Fonte: G1 (2023) [São Luís tem 70 áreas de risco mapeadas, diz Defesa Civil | G1](#)

2.4.4 Análise comparativa e lições aprendidas

Os estudos analisados demonstram que os deslizamentos de terra resultam da interação entre fatores naturais e antrópicos, independentemente das particularidades geográficas de cada município. Em Petrópolis, destacam-se os efeitos das chuvas extremas associadas à ocupação de encostas; em Recife, observa-se a importância das estratégias integradas de mitigação; e em São Luís, evidenciam-se os desafios relacionados à drenagem urbana e à ocupação de áreas vulneráveis.

Em todos os casos, verifica-se que a redução dos riscos depende da combinação entre planejamento territorial, aplicação das normas técnicas de engenharia, monitoramento contínuo das áreas suscetíveis e implementação de políticas públicas permanentes. Assim, as experiências analisadas reforçam que a prevenção constitui a estratégia mais eficaz para minimizar perdas humanas, materiais e ambientais associadas aos deslizamentos de terra.

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como estudo de natureza aplicada, com abordagem qualitativa e quantitativa, desenvolvido por meio de revisão bibliográfica, análise documental e levantamento de dados secundários referentes à ocorrência de deslizamentos de terra no município de São Luís, Maranhão. Essa classificação apoia-se em Gil (2022), para quem a pesquisa aplicada se orienta à produção de conhecimentos destinados à compreensão e à solução de problemas concretos, enquanto a combinação de procedimentos qualitativos e quantitativos amplia a interpretação e a descrição do fenômeno investigado.

Quanto aos objetivos, a pesquisa é classificada como descritiva e exploratória, uma vez que busca compreender os fatores associados à vulnerabilidade das construções localizadas em áreas de risco e identificar estratégias de mitigação aplicáveis ao contexto urbano estudado. Segundo Gil (2022), pesquisas exploratórias permitem ampliar o conhecimento sobre determinado fenômeno, enquanto pesquisas descritivas possibilitam caracterizar suas principais variáveis e relações.

A primeira etapa do estudo consistiu na realização de revisão bibliográfica, com levantamento de artigos científicos, livros, normas técnicas e documentos institucionais relacionados aos temas deslizamentos de terra, estabilidade de encostas, gestão de riscos, planejamento urbano e engenharia geotécnica. Foram consultadas publicações disponíveis no Google Acadêmico, na SciELO, no Portal de Periódicos CAPES e em repositórios e páginas

oficiais de órgãos governamentais, priorizando materiais publicados entre 2015 e 2026, sem excluir normas técnicas e obras clássicas indispensáveis à fundamentação geotécnica do estudo.

Para a realização da busca bibliográfica, foram empregadas combinações de palavras-chave relacionadas ao tema da pesquisa, em português e inglês, visando ampliar a recuperação de estudos relevantes. Entre os principais descritores utilizados destacam-se: "deslizamentos de terra", "movimentos de massa", "estabilidade de encostas", "engenharia geotécnica", "vulnerabilidade geotécnica", "gestão de riscos", "áreas de risco", "contenção de encostas", "*landslides*", "*slope stability*", "*geotechnical engineering*" e "*risk management*". A combinação desses termos foi adaptada às especificidades de cada base de dados consultada.

Após a etapa de busca, os estudos recuperados passaram por um processo de triagem. Inicialmente, foram excluídos os trabalhos duplicados encontrados em mais de uma base de dados. Em seguida, procedeu-se à leitura dos títulos e resumos, sendo descartados os estudos que não apresentavam relação direta com os objetivos desta pesquisa, aqueles voltados exclusivamente para riscos geológicos distintos dos deslizamentos de terra, pesquisas realizadas em contextos sem aplicabilidade à engenharia civil e publicações sem texto completo disponível. Na etapa final, realizou-se a leitura integral dos trabalhos selecionados, permanecendo apenas aqueles que apresentavam fundamentação técnica compatível com a temática proposta, além de normas técnicas, documentos institucionais e estudos científicos considerados relevantes para a análise desenvolvida.

Na segunda etapa, realizou-se a análise documental de legislações, normas técnicas e documentos institucionais relacionados à gestão dos riscos geotécnicos e aos deslizamentos de terra. Foram examinadas a Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012, que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil; a Lei Municipal nº 7.122/2023, que institui o Plano Diretor de São Luís; os documentos municipais relativos à revisão da Lei de Zoneamento, Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo; as notas técnicas e publicações do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN); as séries históricas de precipitação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET); e os mapas e relatórios do Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM). Também foram analisadas a ABNT NBR 11682:2009, referente à estabilidade de encostas, e a ABNT NBR 6122:2019/Em1:2022, relativa ao projeto e à execução de fundações. Esses documentos subsidiaram a identificação das áreas vulneráveis, dos fatores desencadeadores, das exigências normativas e das medidas de mitigação aplicáveis ao município de São Luís.

Quadro 1 - Levantamento bibliográfico e documental para a pesquisa

Etapa	Quantidade
Trabalhos localizados nas bases de dados	78
Registros duplicados excluídos	9
Trabalhos submetidos à leitura de títulos e resumos	69
Trabalhos excluídos por não atenderem aos objetivos	30
Trabalhos lidos integralmente	39
Referências utilizadas no TCC	39

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Posteriormente, os dados coletados foram analisados de forma comparativa, relacionando as informações obtidas nos documentos oficiais com os conceitos e critérios técnicos apresentados na literatura científica. Foram observados aspectos como intensidade pluviométrica, características dos solos, condições de drenagem, ocupação urbana e presença de obras de contenção.

Por fim, realizou-se uma análise crítica dos resultados obtidos, buscando identificar padrões de vulnerabilidade, limitações das medidas atualmente empregadas e possibilidades de mitigação aplicáveis ao município de São Luís. As informações analisadas serviram de base para a elaboração das recomendações apresentadas ao final deste estudo, visando contribuir para o aprimoramento das ações de prevenção e redução de riscos geotécnicos.

Os dados obtidos foram organizados por categorias temáticas, contemplando aspectos geotécnicos, ambientais, normativos e de gestão de riscos, sendo posteriormente analisados de forma descritiva e interpretativa.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Vulnerabilidade das construções em áreas de risco no município de São Luís

A análise da literatura especializada e dos documentos técnicos consultados evidencia que a vulnerabilidade das construções localizadas em áreas de risco constitui um dos principais desafios para o desenvolvimento urbano sustentável no município de São Luís (CEMADEN, 2022; SILVA, 2022; LOUZEIRO, 2022; ABNT, 2009; ABNT, 2022; BRASIL, 2012; CAVALCANTE; SOUZA, 2023).

O Quadro 2 sintetiza características específicas das áreas analisadas em São Luís, posteriormente detalhadas ao longo deste tópico.

Quadro 2 – Situação de risco e caracterização dos bairros de São Luís, Maranhão

Bairro	Características das edificações	Topografia	Infraestrutura
Coroadinho	Alvenaria convencional em encostas	Declividade elevada	Drenagem insuficiente e erosão
Vila Embratel	Moradias próximas aos taludes	Relevo irregular	Poucas obras de contenção
Sá Viana	Residências em lotes pequenos	Cortes em encostas	Necessidade de melhorias na drenagem
Sacavém	Ocupação em áreas suscetíveis	Encostas com solo exposto	Deficiência de drenagem e estabilização

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Entre os fatores naturais, destacam-se as características dos solos predominantes na região, compostos em grande parte por materiais arenosos e argiloarenosos de origem sedimentar. Esses materiais apresentam comportamento sensível à variação do teor de umidade, podendo sofrer redução da resistência mecânica quando submetidos à saturação provocada por chuvas intensas e prolongadas. Segundo Silva (2022), a dinâmica hidrometeorológica e as condições de ocupação de São Luís favorecem a ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa, sobretudo em áreas urbanizadas sem infraestrutura adequada de drenagem e planejamento territorial.

Essa interpretação é corroborada por Louzeiro (2022), que, em análise microlocal da Vila Embratel, identificou que a exposição física das moradias aos movimentos de massa decorre da associação entre declividade, proximidade das edificações às bordas e bases dos taludes, precariedade construtiva e deficiência da drenagem. No Coroadinho, Louzeiro et al. (2022) também apontam que a fragilidade do terreno, o regime sazonal de chuvas e a ocupação urbana sem planejamento ampliam o risco no Morro do Zé Bombom. Esses estudos demonstram que a problemática dos deslizamentos em São Luís é confirmada por investigações distintas, realizadas em bairros diferentes da capital maranhense.

Além das condições naturais, a ocupação irregular de encostas e terrenos suscetíveis a instabilidades constitui importante fator de ampliação dos riscos. Em muitos casos, as edificações são construídas sem estudos geotécnicos prévios, sem acompanhamento técnico especializado e sem observância das normas aplicáveis à segurança das fundações e à estabilidade dos taludes. Essa situação aumenta significativamente a exposição das moradias aos efeitos dos deslizamentos de terra e compromete a segurança estrutural das construções.

Outro aspecto relevante refere-se à deficiência dos sistemas de drenagem urbana. A ausência ou inadequação da drenagem superficial favorece o acúmulo e a infiltração de água

no solo, contribuindo para o aumento da pressão interna nos poros e para a redução da resistência ao cisalhamento. Conforme Vargas (2010), a água representa um dos principais agentes desencadeadores dos movimentos de massa, uma vez que altera diretamente o equilíbrio das encostas.

Nesse contexto, verifica-se que a redução da vulnerabilidade das construções exige uma abordagem integrada, envolvendo ações de engenharia civil, planejamento urbano, fiscalização das ocupações e fortalecimento das políticas habitacionais. A adoção dessas medidas contribui para minimizar os riscos geotécnicos e promover maior segurança para as populações residentes em áreas suscetíveis a movimentos de massa.

4.1.1 Bairro Coroadinho

As Figuras 7 e 8 apresentam exemplos de ocorrências no bairro do Coroadinho.

Figura 7 - Chuvas no Bairro Coroadinho no município de São Luís (MA).



Fonte: SILVA, Josirene França da (2022, p. 112).

Figura 8 - Deslizamentos no Bairro Coroadinho no município de São Luís (MA).



Fonte: g1 (2023)

O bairro do Coroadinho está entre as áreas de São Luís que apresentam maior vulnerabilidade à ocorrência de deslizamentos de terra, principalmente em razão da ocupação consolidada sobre encostas e da elevada densidade habitacional. As edificações são predominantemente residenciais, construídas em alvenaria convencional, muitas delas implantadas em terrenos com declividade acentuada e reduzido afastamento das bordas dos taludes, condição que aumenta a exposição ao risco durante os períodos de chuvas intensas (SILVA, 2022).

Sob o ponto de vista topográfico, observa-se relevo bastante irregular, caracterizado por encostas íngremes e cortes realizados para implantação das moradias. Em diversos trechos verifica-se solo exposto, processos erosivos superficiais e ausência de estabilização adequada dos taludes, fatores que favorecem a infiltração de água e reduzem a estabilidade do terreno.

Quanto à infraestrutura, identificam-se limitações relacionadas aos sistemas de drenagem superficial e ao direcionamento das águas pluviais. Em alguns setores também são observados lançamentos inadequados de águas servidas nas encostas, condição que intensifica a saturação do solo e contribui para a ocorrência de movimentos de massa, conforme discutido por Silva (2022).

4.1.2 Bairro Vila Embratel

Alguns deslizamentos são mostrados nas Figuras 9 e 10.

Figura 9 - Deslizamentos no Bairro Vila Embratel no município de São Luís (MA)



Fonte: Louzeiro e Rodrigues (2024, p. 04)

Figura 10 - Deslizamentos no Bairro Vila Embratel no município de São Luís (MA).



Fonte: Louzeiro e Rodrigues (2024, p. 04)

A Vila Embratel constitui outro setor urbano frequentemente associado aos registros de instabilidade geotécnica no município. As edificações encontram-se distribuídas em áreas de relevo movimentado, onde a expansão urbana ocorreu de forma acelerada, muitas vezes sem o adequado planejamento da ocupação do solo.

Predominam construções de pequeno e médio porte executadas em alvenaria, implantadas próximas às bordas das encostas e, em alguns casos, sobre aterros realizados sem critérios técnicos. Essa condição aumenta a suscetibilidade a recalques e deslizamentos, sobretudo durante eventos pluviométricos intensos.

A infraestrutura apresenta deficiência em sistemas de drenagem pluvial, inexistência de obras permanentes de contenção em diversos trechos e presença de processos erosivos nas áreas não pavimentadas. Esses fatores favorecem a concentração do escoamento superficial, acelerando o desgaste dos taludes e elevando o risco para as edificações instaladas nas proximidades (SILVA, 2022).

4.1.3 Bairro Sacavém

O bairro Sacavém apresenta áreas suscetíveis a processos erosivos e movimentos de massa associados à ocupação urbana sobre terrenos de relevo irregular. As edificações são predominantemente residenciais, implantadas em setores onde a infraestrutura urbana nem sempre acompanha o crescimento da ocupação.

Sob a perspectiva geotécnica, destacam-se encostas com solo exposto, deficiência de cobertura vegetal e ocorrência de processos erosivos provocados pelo escoamento concentrado das águas pluviais. Essas condições reduzem progressivamente a estabilidade dos taludes e aumentam o risco de deslizamentos em períodos de precipitação elevada.

Em relação à infraestrutura, observa-se que a ampliação dos sistemas de drenagem, a execução de obras de contenção e a manutenção preventiva das encostas representam medidas essenciais para reduzir a vulnerabilidade das construções e minimizar os riscos geotécnicos, conforme discutido ao longo deste trabalho. Nas Figuras 11 e 12 são mostrados casos de deslizamentos ocorridos no bairro do Sacavém.

Figura 11 - Deslizamentos no Bairro Sacavém no município de São Luís (MA).



Fonte: SILVA, Josirene França da (2022, p. 112).

4.2 Principais fatores associados aos deslizamentos de terra

Os deslizamentos de terra são fenômenos resultantes da interação entre fatores naturais e intervenções humanas que alteram o equilíbrio das encostas. Essa relação é evidenciada nos estudos de Massad (2008) e Vargas (2010), que demonstram a influência das características geotécnicas dos solos, da ação da água e das condições de estabilidade dos taludes na ocorrência dos movimentos de massa. De forma complementar, Silva (2022) identifica que, no município de São Luís, a combinação entre precipitações intensas, características dos solos sedimentares, ocupação irregular das encostas e deficiência dos sistemas de drenagem constitui o principal conjunto de fatores associados à ocorrência de deslizamentos.

No município de São Luís, o regime pluviométrico apresenta distribuição sazonal bem definida, com concentração das chuvas entre os meses de janeiro e junho, período em que são registrados os maiores acumulados de precipitação. Os picos pluviométricos ocorrem, em geral, entre março e abril, meses que concentram os maiores volumes de chuva e, consequentemente, maior probabilidade de saturação dos solos e ocorrência de deslizamentos. Entre julho e dezembro, observa-se redução significativa das precipitações, caracterizando o período menos chuvoso da região. Conforme os registros do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e os boletins do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), essa distribuição pluviométrica influencia diretamente a estabilidade das encostas, uma vez que o aumento da infiltração de água reduz a resistência mecânica dos solos e favorece a ocorrência de movimentos de massa.

Quadro 2 - Distribuição da precipitação pluviométrica em São Luís (MA) da Normal Climatológica de São Luís (1991–2020).

Mês	Precipitação média (mm)	Caracterização
Janeiro	227	Início do período chuvoso; aumento da umidade do solo e da ocorrência de processos erosivos.
Fevereiro	307	Chuvas intensas; elevada infiltração de água e aumento da saturação do solo.
Março	445	Pico pluviométrico; maior suscetibilidade a deslizamentos, erosões e alagamentos.
Abril	419	Pico pluviométrico; manutenção das condições críticas para movimentos de massa.
Maiο	298	Chuvas elevadas; permanência da saturação dos solos e instabilidade das encostas.
Junho	167	Período de transição; redução gradual da precipitação e da umidade do solo.
Julho	115	Início do período seco; diminuição dos processos erosivos relacionados às chuvas.

Mês	Precipitação média (mm)	Caracterização
Agosto	36	Período seco; baixa ocorrência de precipitações.
Setembro	18	Período seco; menor influência das chuvas sobre a estabilidade das encostas.
Outubro	21	Período seco; manutenção das condições de baixa precipitação.
Novembro	32	Pré-estação chuvosa; retomada gradual das precipitações.
Dezembro	84	Transição para o período chuvoso; aumento progressivo da umidade do solo.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2026) a partir Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Normais Climatológicas do Brasil (1991–2020).

Observa-se que os maiores acumulados pluviométricos se concentram entre os meses de fevereiro e maio, com destaque para março (445 mm) e abril (419 mm), período em que aumenta significativamente a suscetibilidade à ocorrência de deslizamentos de terra.

Outro elemento relevante está relacionado às características geológicas e geotécnicas dos materiais presentes nas encostas. Solos com elevada fração argilosa tendem a apresentar alterações significativas em suas propriedades mecânicas quando submetidos à variação de umidade. Em situações de saturação prolongada, a perda de resistência pode comprometer a estabilidade dos taludes, principalmente quando associada a declividades acentuadas e à ausência de sistemas eficientes de drenagem (ACORDES, 2022; QUEIROZ; PACHECO, 2022; SANTOS et al., 2013).

Além dos fatores naturais, a ação humana exerce papel determinante na ampliação dos riscos. O crescimento urbano desordenado tem favorecido a ocupação de áreas inadequadas para construção, especialmente em regiões de encosta. Em muitos casos, são realizados cortes e aterros sem estudos geotécnicos prévios, alterando a configuração natural do terreno e comprometendo seu equilíbrio estrutural. Segundo Oliveira e Sousa (2021), intervenções inadequadas no relevo constituem uma das principais causas de instabilidade em áreas urbanizadas (Figura 12).

Figura 12 - Corte de encosta sem critérios técnicos, solo exposto, ocupação próxima ao talude e potencial risco de deslizamento.



Fonte: Jornal *A Voz da Serra* (2021).

A remoção da cobertura vegetal também contribui para a intensificação dos processos erosivos e para a redução da estabilidade superficial do solo. As raízes desempenham importante função na fixação das partículas e na absorção de parte da água infiltrada. Quando a vegetação é removida, o solo torna-se mais vulnerável à erosão e à ação das águas pluviais, favorecendo o desenvolvimento de processos de degradação ambiental e movimentos de massa (ACORDES, 2022).

Outro aspecto frequentemente observado é a deficiência dos sistemas de drenagem urbana. A inexistência ou inadequação de canaletas, sarjetas, galerias pluviais e dispositivos de drenagem profunda favorece o escoamento descontrolado da água sobre as encostas. Essa situação potencializa processos erosivos, aumenta a infiltração e acelera a deterioração das condições geotécnicas do terreno. A Figura 13 apresenta situações associadas à ausência ou deficiência de sistemas de drenagem em taludes.

Figura 13 - Exemplos de deficiência dos sistemas de drenagem em áreas de encosta, evidenciando processos erosivos, escoamento superficial descontrolado e degradação das condições geotécnicas do terreno.



Fonte: SILVA, Josirene França da (2022, p. 130).

A ocupação irregular de áreas suscetíveis a deslizamentos também está associada à vulnerabilidade social. Comunidades de baixa renda frequentemente se estabelecem em locais que apresentam restrições ambientais e geotécnicas, motivadas pela falta de alternativas habitacionais adequadas. Nesses espaços, a ausência de infraestrutura básica e de assistência técnica especializada amplia significativamente os riscos para a população residente.

Dessa forma, verifica-se que os deslizamentos de terra resultam da combinação de fatores físicos e socioeconômicos. A compreensão dessa relação é fundamental para a elaboração de estratégias de prevenção e mitigação capazes de reduzir os impactos sobre as construções, a infraestrutura urbana e a segurança das comunidades expostas aos riscos geotécnicos.

4.3 Estratégias de mitigação aplicáveis ao município de São Luís

A mitigação dos riscos associados aos deslizamentos de terra exige a adoção de medidas integradas que contemplem aspectos técnicos, ambientais e institucionais. Considerando as características geotécnicas e urbanísticas observadas em São Luís, torna-se fundamental a implementação de estratégias voltadas tanto para a redução da vulnerabilidade das encostas quanto para o fortalecimento das ações preventivas no planejamento urbano.

Entre as medidas estruturais mais relevantes, destaca-se a implantação de sistemas adequados de drenagem superficial e profunda. A drenagem superficial tem a função de captar e direcionar as águas pluviais, evitando o escoamento desordenado sobre as encostas. Já a drenagem profunda atua na redução da pressão da água presente no interior do solo, contribuindo para a manutenção da estabilidade geotécnica dos taludes. Conforme estabelece a ABNT NBR 11682:2009, o controle da água constitui um dos fatores mais importantes para a prevenção de movimentos de massa em áreas suscetíveis à instabilidade.

Uma das principais estratégias para redução da ocorrência de deslizamentos consiste na implantação de sistemas de drenagem superficial, responsáveis por captar e conduzir as águas pluviais antes que elas se infiltrem no terreno. Entre as soluções mais empregadas destacam-se as canaletas, as sarjetas e as escadas hidráulicas, estruturas executadas em concreto ou alvenaria que direcionam o escoamento superficial para galerias pluviais ou pontos seguros de lançamento. Quando corretamente dimensionados e mantidos, esses dispositivos reduzem a erosão superficial, evitam a formação de sulcos e ravinas e diminuem a saturação dos taludes, contribuindo para a estabilidade das encostas (ABNT NBR 11682:2009).

Outra estratégia amplamente utilizada consiste na execução de obras de contenção. Dependendo das características do terreno e das condições locais, podem ser empregados muros de arrimo, gabiões, solo grampeado, cortinas atirantadas e outras soluções de engenharia destinadas a aumentar a resistência das encostas e reduzir a probabilidade de rupturas. A escolha da técnica mais adequada deve ser precedida por estudos geotécnicos detalhados, capazes de identificar as propriedades do solo e os mecanismos de instabilidade predominantes.

A revegetação das encostas também representa importante medida de mitigação. A cobertura vegetal contribui para a proteção superficial do solo contra a erosão, reduz a velocidade do escoamento das águas pluviais e auxilia na estabilização das camadas mais superficiais por meio do sistema radicular das plantas. Além dos benefícios geotécnicos, a revegetação promove melhorias ambientais e paisagísticas, favorecendo a recuperação de áreas degradadas.

No âmbito das edificações, a observância das normas técnicas relacionadas às fundações e à estabilidade de encostas é fundamental para garantir a segurança das construções. A ABNT NBR 6122:2019/Em1:2022 estabelece critérios para o projeto e execução de fundações, enquanto a ABNT NBR 11682:2009 apresenta diretrizes para análise e controle da estabilidade de taludes. O cumprimento dessas normas reduz significativamente os riscos associados à ocupação de áreas com condições geotécnicas desfavoráveis.

Além das intervenções estruturais, as medidas não estruturais desempenham papel igualmente relevante na gestão dos riscos. O monitoramento das áreas suscetíveis, a elaboração de mapas de risco, a fiscalização das ocupações irregulares e a implementação de programas de educação ambiental contribuem para a redução da exposição das comunidades aos deslizamentos. Essas ações permitem identificar precocemente situações de perigo e orientar decisões relacionadas ao uso e ocupação do solo (PMRR, 2020; OLIVEIRA; SOUSA, 2021; ACORDES, 2022; QUEIROZ, PACHECO, 2022).

A participação da população também constitui elemento essencial para o sucesso das estratégias de mitigação. Comunidades informadas sobre os riscos presentes em seu território tendem a adotar práticas mais seguras e a colaborar com ações preventivas promovidas pelos órgãos públicos. Nesse sentido, campanhas educativas e programas de conscientização podem fortalecer a cultura de prevenção e ampliar a capacidade de resposta diante de emergências.

Portanto, a mitigação dos deslizamentos de terra em São Luís depende da combinação entre soluções de engenharia, planejamento urbano, gestão ambiental e participação social. A adoção dessas estratégias de forma articulada contribui para a construção de ambientes urbanos mais seguros, resilientes e preparados para enfrentar os desafios impostos pelos riscos geotécnicos.

5 CONTRIBUIÇÕES DA ENGENHARIA CIVIL E DAS POLÍTICAS PÚBLICAS PARA A REDUÇÃO DOS RISCOS

A redução dos riscos associados aos deslizamentos de terra exige uma atuação integrada entre a engenharia civil e as políticas públicas voltadas ao planejamento urbano e à gestão territorial. Embora os fenômenos geotécnicos possuam condicionantes naturais, a intensidade de seus impactos está diretamente relacionada às decisões humanas referentes ao uso e ocupação do solo, à qualidade das construções e à implementação de medidas preventivas capazes de minimizar a vulnerabilidade das comunidades expostas.

No âmbito da engenharia civil, a ABNT NBR 11682:2009 estabelece diretrizes para a avaliação da estabilidade de encostas, recomendando que os projetos considerem aspectos como a geometria dos taludes, a declividade natural do terreno, as características geológicas e geotécnicas dos materiais, as condições de drenagem superficial e subterrânea e a influência das cargas provenientes das edificações. A norma também destaca a necessidade de inspeções técnicas e da adoção de medidas de estabilização compatíveis com o nível de risco identificado, incluindo drenagem, contenções, revegetação e monitoramento das áreas suscetíveis a movimentos de massa.

Complementarmente, a ABNT NBR 6122:2019/Em1:2022, que trata do projeto e da execução de fundações, determina que a definição do sistema de fundação seja precedida por investigações geotécnicas capazes de caracterizar adequadamente o subsolo. Entre os ensaios mais utilizados destacam-se as sondagens de simples reconhecimento com ensaio de penetração (SPT), empregadas para determinação da estratigrafia, da resistência do solo e do nível do lençol freático, além de investigações complementares quando necessárias às condições locais. Essas informações subsidiam a escolha entre fundações rasas ou profundas e permitem avaliar a necessidade de soluções adicionais, como drenagem, contenções ou reforço dos taludes. Em áreas sujeitas a deslizamentos, a integração entre os resultados das investigações geotécnicas, o correto dimensionamento das fundações e o controle das águas superficiais e subterrâneas constitui um dos principais fatores para a segurança das edificações e para a redução da vulnerabilidade geotécnica (MASSAD, 2008; VARGAS, 2010).

Entretanto, as soluções técnicas isoladas não são suficientes para enfrentar a complexidade dos problemas associados aos deslizamentos de terra. Torna-se indispensável a participação do poder público por meio da formulação e execução de políticas voltadas à redução das vulnerabilidades socioambientais. A Lei nº 12.608/2012, que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, estabelece diretrizes importantes para a prevenção de desastres, incentivando o mapeamento das áreas de risco, a integração do planejamento urbano às ações de proteção e a promoção de medidas preventivas nos municípios brasileiros.

No âmbito municipal, o principal instrumento de ordenamento territorial atualmente vigente é a Lei nº 7.122/2023, que instituiu o novo Plano Diretor de São Luís e substituiu o plano de 2006. Entre suas diretrizes estão a correção das distorções do crescimento urbano, a melhoria da infraestrutura em áreas socialmente vulneráveis, a implantação de programas de prevenção de riscos e recuperação de áreas degradadas e a integração das políticas de habitação, saneamento, meio ambiente e planejamento territorial (SÃO LUÍS, 2023). Para o enfrentamento dos deslizamentos, essas diretrizes devem ser articuladas aos mapas de risco, à fiscalização de

novas ocupações e às exigências da ABNT NBR 11682:2009 e da ABNT NBR 6122:2019/Em1:2022.

Embora o Plano Diretor tenha sido atualizado em 2023, permanece um descompasso entre esse instrumento estratégico e parte da legislação urbanística complementar. A Lei de Zoneamento, Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo de São Luís ainda se fundamenta na Lei nº 3.253/1992 e encontrava-se em processo de revisão municipal em 2026. Como essa legislação define concretamente os parâmetros de uso do solo, ocupação dos lotes, altura das edificações e áreas permeáveis, sua atualização é indispensável para restringir ocupações em terrenos suscetíveis, incorporar os setores de risco geológico e tornar efetivas as diretrizes do Plano Diretor (SÃO LUÍS, 2026).

Na mesma direção, Pereira (2024), ao examinar o planejamento urbano e a gestão de riscos na bacia hidrográfica do rio Bacanga, identifica que a urbanização acelerada levou parcelas da população de baixa renda a ocupar margens de rios e terrenos íngremes sujeitos a inundações e deslizamentos. A autora defende a integração entre drenagem, planejamento urbano, políticas públicas e instrumentos de controle em escala local, reforçando que a prevenção depende tanto das obras de engenharia quanto da aplicação contínua da legislação territorial.

Da mesma forma, as orientações estabelecidas pelo Marco de Sendai para Redução do Risco de Desastres (2015–2030) reforçam a necessidade de fortalecer a governança do risco, ampliar os investimentos em ações preventivas e promover maior participação da sociedade nos processos de planejamento e tomada de decisão. Em consonância com essas diretrizes, a Lei nº 12.608/2012, que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, estabelece que a prevenção, o monitoramento, o planejamento territorial e a integração entre os diferentes órgãos públicos constituem elementos essenciais para a redução dos riscos de desastres. Além disso, Magnoni Júnior et al. (2020) destacam que a efetividade dessas ações depende da articulação entre poder público, instituições de ensino, órgãos técnicos e comunidades locais, fortalecendo a cultura da prevenção e a capacidade de resposta diante de eventos extremos. Dessa forma, verifica-se que a redução dos desastres não depende exclusivamente da implantação de obras de infraestrutura, mas também do fortalecimento institucional, da gestão integrada dos riscos e da participação social na construção de cidades mais resilientes (UNDRR, 2015; BRASIL, 2012; MAGNONI JÚNIOR et al., 2020).

A literatura analisada demonstra que a implementação de políticas públicas integradas pode reduzir a vulnerabilidade a deslizamentos. No Recife, as estratégias associam obras de drenagem, estabilização de encostas, revegetação, reassentamento e educação ambiental

(PMRR, 2020; SILVA; ALMEIDA; GOMES, 2020). Em São Luís, Silva (2022), Louzeiro (2022), Louzeiro et al. (2022) e Pereira (2024) convergem ao indicar que o monitoramento das áreas suscetíveis, a manutenção dos sistemas de drenagem, o controle da ocupação urbana e a integração entre planejamento e gestão de riscos são medidas prioritárias. O caso de Petrópolis (RJ), por sua vez, reforça que a insuficiência dessas políticas amplia os impactos dos eventos extremos e demonstra que investimentos permanentes em prevenção são mais eficazes do que ações exclusivamente emergenciais.

Observa-se ainda que a produção de conhecimento científico pelas universidades, órgãos de pesquisa e instituições técnicas constitui contribuição decisiva para a prevenção dos deslizamentos. Silva (2022) analisou os riscos hidrometeorológicos em diferentes áreas urbanas de São Luís; Louzeiro (2022) sistematizou indicadores de exposição física aplicados à Vila Embratel; Louzeiro et al. (2022) caracterizaram setores de risco no Morro do Zé Bombom, no Coroadinho; e Pereira (2024) examinou a relação entre planejamento urbano e gestão de riscos na bacia do Bacanga. Em conjunto, essas pesquisas evidenciam a influência da drenagem, da declividade, da qualidade das construções e da ocupação do solo sobre a estabilidade das encostas. Somadas aos fundamentos de Massad (2008) e Vargas (2010), aos levantamentos do SGB/CPRM, aos sistemas de monitoramento do CEMADEN e aos registros da Defesa Civil, elas oferecem subsídios para definir áreas prioritárias, dimensionar intervenções e formular políticas públicas territorialmente adequadas.

Diante desse cenário, verifica-se que a construção de cidades mais seguras depende da articulação entre conhecimento técnico, planejamento territorial e compromisso institucional. A atuação conjunta da engenharia civil, dos órgãos públicos e da sociedade constitui elemento indispensável para reduzir a vulnerabilidade das construções, promover o uso sustentável do território e minimizar os impactos decorrentes dos deslizamentos de terra.

6 CONCLUSÃO

O presente estudo alcançou o objetivo de analisar a vulnerabilidade das construções localizadas em áreas suscetíveis a deslizamentos de terra no município de São Luís (MA), evidenciando que a ocorrência desses eventos resulta da interação entre fatores naturais e ações antrópicas. A análise realizada demonstrou que os períodos de maior precipitação favorecem a saturação dos solos, especialmente em encostas com elevada declividade, aumentando significativamente a instabilidade dos terrenos. Nesse contexto, os bairros Coroadinho, Sá Viana, Sacavém e Vila Embratel destacam-se entre as áreas mais vulneráveis do município, em

razão da combinação entre relevo acidentado, ocupação irregular e deficiência da infraestrutura urbana.

Também foi constatado que a maior parte das edificações presentes nessas áreas corresponde a construções residenciais em alvenaria convencional, frequentemente implantadas sobre encostas ou próximas às bordas dos taludes, muitas vezes sem estudos geotécnicos, acompanhamento técnico ou sistemas adequados de drenagem. A deficiência na coleta e condução das águas pluviais, a remoção da cobertura vegetal, a realização de cortes inadequados nos terrenos e a ausência de obras permanentes de contenção intensificam os processos erosivos e elevam a suscetibilidade aos movimentos de massa, ampliando os riscos para a população residente.

Os resultados obtidos reforçam que a mitigação dos deslizamentos depende da adoção de medidas preventivas integradas, entre elas o mapeamento contínuo das áreas de risco, o monitoramento geotécnico das encostas, a implantação e manutenção de sistemas eficientes de drenagem superficial e profunda, a execução de obras de contenção, a revegetação de taludes, a fiscalização das ocupações irregulares e o cumprimento das normas técnicas aplicáveis aos projetos e às fundações. Essas ações devem ser acompanhadas por políticas públicas permanentes de planejamento urbano, educação ambiental e fortalecimento da atuação da Defesa Civil.

A pesquisa também demonstrou que experiências desenvolvidas em outras cidades brasileiras podem servir como referência para São Luís. Em Recife (PE), a integração entre obras de estabilização de encostas, drenagem, revegetação, reassentamento de famílias e programas de educação ambiental contribuiu para reduzir a vulnerabilidade das áreas críticas e fortalecer a gestão preventiva dos riscos. Por outro lado, as lições aprendidas com o desastre de Petrópolis (RJ) evidenciam a necessidade de investimentos contínuos em monitoramento, fiscalização e planejamento territorial para evitar que eventos extremos resultem em grandes perdas humanas e materiais.

Conclui-se, portanto, que a redução dos deslizamentos de terra em São Luís depende da atuação integrada entre engenharia civil, planejamento urbano, órgãos de proteção e defesa civil e poder público. A implementação de soluções técnicas associadas a políticas públicas permanentes representa o caminho mais eficaz para reduzir a vulnerabilidade das construções, aumentar a segurança da população e promover um desenvolvimento urbano mais resiliente e sustentável.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 11682:2009: Estabilidade de encostas. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6122:2019/Em1:2022: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ACORDES, Fabiane Aline. **DETECTA: ferramenta de análise de risco a deslizamentos para ações de Proteção e Defesa Civil**. Editora Dialética, 2022.

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 dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 11 abr. 2012.

CARDONA, O. D. **The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: a necessary review and criticism for effective risk management**. In: BANKOFF, G.; FRERKS, G.; HILHORST, D. Mapping vulnerability: disasters, development and people. London: Earthscan, 2004. p. 37–51.

CAVALCANTE, R. S.; SOUZA, M. A. Gestão de riscos geotécnicos e prevenção de desastres em áreas urbanas brasileiras. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, Curitiba, v. 15, e20230015, 2023.

CEMADEN – CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS. **Relatório de monitoramento de movimentos de massa no Brasil**. São José dos Campos: CEMADEN, 2022.

CRUDEN, D. M.; VARNES, D. J. Landslide types and processes. In: TURNER, A. K.; SCHUSTER, R. L. Landslides: investigation and mitigation. Washington: **National Academy Press**, 1996. p. 36–75.

O DIÁRIO DE TERESÓPOLIS. *Ossada humana achada em Petrópolis pode ser de vítima da chuva de 2022*. Teresópolis, 8 nov. 2024. Disponível em: <https://odiariodeteresopolis.com.br/ossada-humana-achada-em-petropolis-pode-ser-de-vitima-da-chuva-de-2022>. Acesso em: 10 jul. 2026.

FOLHA DE PERNAMBUCO. *Deslizamento de barreira atinge seis casas no Brejo da Guabiraba, Zona Norte do Recife*. Recife, 10 ago. 2021. Disponível em: <https://www.folhape.com.br/noticias/deslizamento-de-barreira-atinge-seis-casas-no-brejo-da-guabiraba/193530/>. Acesso em: 10 jul. 2026.

G1 MARANHÃO. São Luís tem 70 áreas de risco mapeadas, diz Defesa Civil. São Luís, 14 fev. 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2023/02/14/sao-luis-tem-70-areas-de-risco-mapeadas-diz-defesa-civil.ghtml>. Acesso em: 10 jul. 2026.

G1 MARANHÃO. *Criança morre soterrada no bairro do Coroadinho, em São Luís*. São Luís, 5 maio 2014. Disponível em: <https://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2014/05/crianca-morre-soterrada-no-bairro-do-coroadinho-em-sao-luis.html>. Acesso em: 10 jul. 2026.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e Estados: São Luís**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Relatório técnico sobre os deslizamentos ocorridos em Petrópolis (RJ) em 2022**. São Paulo: IPT, 2022.

JORNAL DA UNICAMP. **Petrópolis: não foi um desastre natural!** Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 22 fev. 2022. Disponível em: <https://www2.unicamp.br/unicamp/ju/noticias/2022/02/22/petropolis-nao-foi-um-desastre-natural>. Acesso em: 10 jul. 2026.

JORNAL A VOZ DA SERRA. **Governo do Estado confirma contenção de encostas em Nova Friburgo**. Nova Friburgo, 7 dez. 2021. Disponível em: <https://avozdaserra.com.br/noticias/governo-do-estado-confirma-contencao-de-encostas-em-nova-friburgo>. Acesso em: 10 jul. 2026.

LIBERATI, Flávia Miglioranci et al. **Estabilidade de encosta x ocupação antrópica**. 2019.

LOUZEIRO, Andreza dos Santos. **Avaliação de risco de movimento de massa: proposta de sistematização de indicadores de exposição física em análise microlocal aplicada ao bairro Vila Embratel, São Luís-MA (Brasil)**. 2022. 240 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/50060>. Acesso em: 17 jul. 2026.

LOUZEIRO, Andreza dos Santos; MENDES, Débora Leyse Medeiros; GOMES, Erick Jordan da Silva; ALMEIDA, Lutiane Queiroz de. **Exposição aos riscos de movimento de massa no Morro do Zé Bombom, bairro do Coroadinho – São Luís-MA (Brasil)**. Paisagens & Geografias, v. 5, n. 1, p. 10–20, 2022. Disponível em: <https://paisagensegeografias.revistas.ufcg.edu.br/index.php/A1p7D/article/view/57>. Acesso em: 17 jul. 2026.

MAGNONI JÚNIOR, L. et al. **Gestão de riscos geológicos e prevenção de desastres em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

MASSAD, F. **Obras de terra: curso básico de geotecnia**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

O IMPARCIAL. **Defesa Civil Municipal monitora áreas de risco em São Luís**. São Luís, 2022.

OLIVEIRA, A. P.; SOUSA, R. F. Engenharia geotécnica aplicada à prevenção de deslizamentos em áreas urbanas. **Revista Engenharia em Foco**, v. 8, n. 3, p. 112–128, 2021.

PEREIRA, Marcio Rodrigo da Silva. **A organização social do espaço urbano de São Luís-MA**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PEREIRA, Claudia Rakel Pena. **Planejamento urbano e gestão de risco de inundação na bacia hidrográfica do rio Bacanga – São Luís, MA**. *Geoconexões*, [S. l.], v. 1, n. 18, p. 129–150, 2024. DOI: 10.15628/geoconexes.2024.14985. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/geoconexoes/article/view/14985>. Acesso em: 17 jul. 2026.

PMRR – PLANO MUNICIPAL DE REDUÇÃO DE RISCO. **Plano Municipal de Redução de Risco do Recife**. Recife: Prefeitura do Recife, 2020.

QUEIROZ, Lenilson José Souza de; PACHECO, Almir Araújo. **Setorização de áreas de risco geológico: Amapá do Maranhão, Maranhão**. CPRM, 2022.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

SANTOS, M. A.; FERREIRA, L. R.; LIMA, J. P. Vulnerabilidade socioambiental e ocupação de encostas em cidades brasileiras. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 61, p. 85–102, 2022.

SÃO LUÍS (Município). **Lei nº 7.122, de 12 de abril de 2023**. Institui o Plano Diretor do Município de São Luís e dá outras providências. Diário Oficial do Município de São Luís, São Luís, 12 abr. 2023. Disponível em: <https://diariooficial.saoluis.ma.gov.br/documento/view/13222>. Acesso em: 17 jul. 2026.

SÃO LUÍS (Município). Instituto da Cidade, Pesquisa e Planejamento Urbano e Rural. **Revisão da Lei de Zoneamento, Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo**. São Luís, 2026. Disponível em: <https://www.saoluis.ma.gov.br/revisao-zoneamento/>. Acesso em: 17 jul. 2026.

SILVA, Josirene França da. Risco hidrometeorológicos em área urbana do município de São Luís-MA: vulnerabilidade, perigo e suscetibilidade associados. 2022. 189 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2022. Disponível em: <https://tedebc.ufma.br/jspui/handle/tede/4279>. Acesso em: 17 jul. 2026.

SILVA, R. M.; ALMEIDA, C. A.; GOMES, P. H. Gestão de riscos, planejamento urbano e prevenção de desastres naturais. **Revista Brasileira de Planejamento Urbano**, v. 12, n. 1, p. 55–73, 2020.

SOLOS, Embrapa et al. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro**, v. 3, 2013.

UNDRR – UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. **Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030**. Geneva: United Nations, 2015.

VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos**. São Paulo: McGraw-Hill, 2010.

ZECA SOARES. **Prefeitura de São Luís deve retirar moradores de áreas de risco**. São Luís, 2023.