

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB-CPRM)

PROGRAMA GESTÃO DE RISCOS E DESESTRES

MAPEAMENTOS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS VOLTADOS PARA A PREVENÇÃO DE DESASTRES

CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO

Juiz de Fora, MG

REALIZAÇÃO

DEPARTAMENTO DE GESTÃO TERRITORIAL

DIVISÃO DE GEOLOGIA APLICADA

2025

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Alexandre Silveira de Oliveira

Secretário Executivo

Arthur Cerqueira Valério

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Vitor Eduardo de Almeida Saback

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor-Presidente

Cassiano de Souza Alves (interino)

Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

Alice Silva de Castilho

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Francisco Valdir Silveira

Diretor de Infraestrutura Geocientífica

Sabrina Soares de Araújo Góis

Diretor de Administração e Finanças

Cassiano de Souza Alves

DEPARTAMENTO DE GESTÃO TERRITORIAL

Diogo Rodrigues A. da Silva

DIVISÃO DE GEOLOGIA APLICADA

Tiago Antonelli

DIVISÃO DE GESTÃO TERRITORIAL

Maria Adelaide Mansini Maia

EQUIPE TÉCNICA

Coordenação

Douglas da Silva Cabral

Execução

Filipe de Brito Fratte Modesto

Ítalo Prata de Menezes

José Milton de Oliveira Filho

Marcelo de Queiroz Jorge

Colaboração

Daniela Silva Esteves de Souza (estagiária)

Direitos desta edição: Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB-CPRM)
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL
I PROGRAMA GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES I

MAPEAMENTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS
VOLTADOS PARA A PREVENÇÃO DE DESASTRES

CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO

Juiz de Fora, MG

AUTORES

Filipe de Brito Fratte Modesto
Ítalo Prata de Menezes
José Milton de Oliveira Filho
Marcelo de Queiroz Jorge



MG

2025

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO

RESUMO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 2 |
| 2. OBJETIVOS | 3 |
| 3. APLICABILIDADE E LIMITAÇÕES DE USO | 3 |
| 4. MATERIAIS E MÉTODOS | 4 |
| 5. DISPONIBILIZAÇÃO E ESTRUTURAÇÃO BÁSICA DOS DADOS FINAIS | 7 |
| 5.1. Produtos Disponibilizados | 7 |
| 5.2. Caracterização da Área de Estudo | 8 |
| 5.3. Materiais Utilizados | 12 |
| 5.4. Ensaios de Laboratório | 13 |
| 5.5. Ensaios de Permeabilidade | 15 |
| 6. RESULTADOS | 18 |
| 6.1. Classes de Aptidão à Urbanização Frente a Movimentos de Massa, Enchentes e Inundações | 19 |
| 6.2. Descrição das Unidades Geotécnicas | 20 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 29 |

APRESENTAÇÃO

As ações promovidas pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM), no

âmbito do Departamento de Gestão Territorial (DEGET), envolvem a coordenação, supervisão e execução de estudos do meio físico voltados à conservação ambiental, ordenamento territorial e prevenção de desastres.

Neste contexto, a Divisão de Geologia Aplicada (DIGEAP) tem papel fundamental na condução de estudos, projetos e programas, cujo foco principal é produzir instrumentos técnicos capazes de subsidiar os gestores públicos na formulação, aprimoramento e execução de políticas direcionadas à mitigação dos danos causados por eventos adversos de natureza geológica, como deslizamentos, quedas de blocos de rocha, erosões, inundações, dentre outros.

As atividades desenvolvidas pelo DEGET e pela DIGEAP incluem, ainda, ações de fomento à disseminação do conhecimento geocientífico, por meio da promoção de cursos de capacitação voltados aos agentes públicos e à sociedade em geral.

Assim, com esse espírito de inovação e com a responsabilidade de fomentar a ocupação segura e sustentável do território, o SGB-CPRM espera que as informações contidas no presente relatório possam ser empregadas em prol do bem-estar da sociedade brasileira.

Inácio Cavalcante Melo Neto

Diretor-Presidente interino

Alice Silva de Castilho

Diretora de Hidrologia e Gestão
Territorial

RESUMO

Este relatório apresenta de forma objetiva e sintética os aspectos que permeiam a Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização do município de Juiz de Fora, produzida pelo do Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM e conduzida pelo Departamento de Gestão Territorial (DEGET), da Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial (DHT), nos anos de 2024 e 2025.

São apresentadas brevemente a metodologia e os dados utilizados, assim como os resultados da integração entre as informações coletadas em escritório e em campo, além de informações obtidas através de análises laboratoriais.

É importante destacar que as informações contidas neste relatório complementam às apresentadas nas Cartas e SIG produzidos e que, somados, constituem o produto final entregue à gestão municipal.

Palavras-chave: carta geotécnica; prevenção de desastres; ordenamento territorial.

1. INTRODUÇÃO

As Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização constituem documentos cartográficos que traduzem a capacidade dos terrenos para suportar os diferentes usos e práticas da engenharia e do urbanismo, com o mínimo de impacto possível e com o maior nível de segurança à população.

Tem como objetivo principal caracterizar os terrenos do ponto de vista geológico-geotécnico e definir as aptidões à ocupação quanto à probabilidade de ocorrência dos desastres naturais, em regiões metropolitanas não ocupadas e zonas não ocupadas que caracterizam áreas de expansão a médio e longo prazos.

O documento é previsto no Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais e atende as diretrizes da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (Lei 12.608/2012; BRASIL, 2012). Inicialmente desenvolvido em parceria com o Ministério das Cidades (atual Ministério do Desenvolvimento Regional), passando a partir de 2017 a serem desenvolvidas pelo Serviço Geológico do Brasil - SGB/CPRM.

As Cartas Geotécnicas de aptidão à Urbanização, associadas a outros produtos desenvolvidos pelo Serviço Geológico do Brasil, como a Setorização das Áreas de Risco e as Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações, constituem uma gama de informações essenciais para o planejamento e gestão urbanos.

Neste contexto, este relatório apresenta informações que complementam a leitura da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização do município de Juiz de Fora, realizada entre os anos de 2024 e 2025, pelo Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM.

2. OBJETIVOS

Este relatório tem o propósito de dar ao usuário, informações mais claras dos insumos utilizados e do processo de produção que envolve os resultados cartográficos finais. Dessa forma, nos tópicos seguintes, serão detalhadas informações referentes à área de estudo, dados utilizados, características das unidades mapeadas, ensaios de laboratório, ensaios de permeabilidade, leitura, usos e limitações da carta, além de outras informações pertinentes ao entendimento completo e correto dos produtos.

3. APLICABILIDADE E LIMITAÇÕES DE USO

A Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização pode ter diversas finalidades, podendo ser aplicada para:

1. Subsidiar o poder público na prevenção de desastres relacionados a movimentos de massa e inundações;
2. Regular de forma técnica o parcelamento do solo urbano sob uma abordagem preventiva e de planejamento;
3. Contribuir para projetos de urbanização, indicando onde não se deve permitir a aprovação de novos lotes urbanos voltados para ocupação permanente, áreas em que a aprovação dos lotes está condicionada a estudos de obras de intervenção que garantam a segurança da ocupação e áreas onde não há restrições à aprovação de novos lotes;
4. Avaliar e dar subsídio técnico à municipalidade quanto a aptidão de uma determinada área para a implantação de construções e condomínios residenciais, visando exclusivamente àquelas instalações com fundações rasas e para fins residenciais.

Entretanto, ela apresenta limitações de uso, não podendo ser utilizada para subsidiar de forma direta:

1. Análises de estabilidade de talude e encostas;
2. Projetos de engenharia destinados à correta seleção, dimensionamento e implantação de obras estruturais;
3. Avaliar a pertinência e eficácia de obras de engenharia de qualquer natureza;
4. Inferir aptidão para a implantação de obras de infraestrutura de grandes dimensões e que necessitem de fundações profundas e/ou métodos construtivos mais elaborados, como edifícios, rodovias, obras metroviárias, instalações industriais, dentre outras;
5. Aplicações incompatíveis com a escala cartográfica de elaboração (1:10.000).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho consiste no levantamento de informações do meio, com a descrição de características do terreno (geologia, solos/materiais inconsolidados e geomorfologia) e a execução de ensaios (in situ e em laboratório). Tais informações são analisadas e trabalhadas em escritório para composição do documento cartográfico.

Os trabalhos para produção das Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização perfazem de três etapas básicas. Estas etapas consistem de atividades de escritório, campo e laboratório, realizadas conforme cronograma apresentado na Tabela 1 e Figura 1.

Tabela 1 - Equipe e período de realização das atividades de campo e laboratório

| Atividades | Mês | Equipe |
|-----------------------|------------|---|
| Campo – Etapa 1 | Abril/2024 | Filipe de Brito Fratte Modesto Italo Prata de Menezes José Milton de Oliveira Filho Marcelo de Queiroz Jorge |
| Campo – Etapa 2 | Junho/2024 | Filipe de Brito Fratte Modesto Italo Prata de Menezes José Milton de Oliveira Filho Marcelo de Queiroz Jorge |
| Laboratório - Etapa 1 | junho/2024 | Daniela Silva Esteves de Souza Filipe de Brito Fratte Modesto |
| Laboratório - Etapa 2 | Julho/2024 | Daniela Silva Esteves de Souza Filipe de Brito Fratte Modesto |

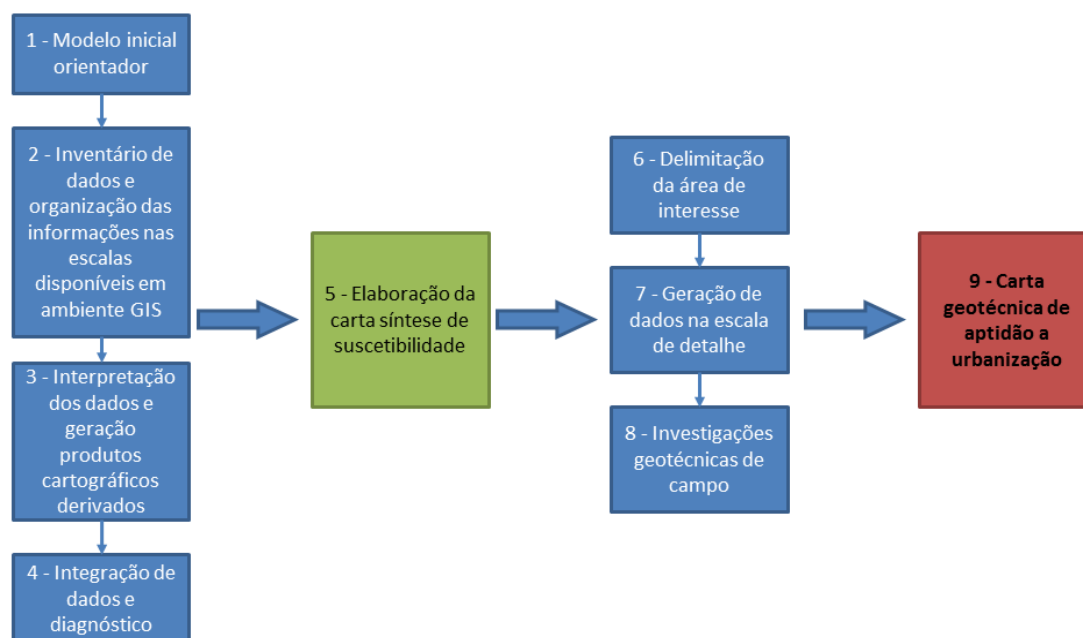


Figura 1 - Fluxo de processos executados durante o trabalho.

A metodologia utilizada durante os trabalhos (Figura 2) é apresentada no Guia de Procedimentos Técnicos do Departamento de Gestão Territorial – Cartas

Geotécnicas de Aptidão à Urbanização (ANTONELLI, MENEZES, *et al.*, 2021), disponível no link: [Guia de Procedimentos Técnicos](#).

Na Figura 2 a metodologia é melhor detalhada, descrevendo cada etapa que consiste na produção da carta geotécnica.

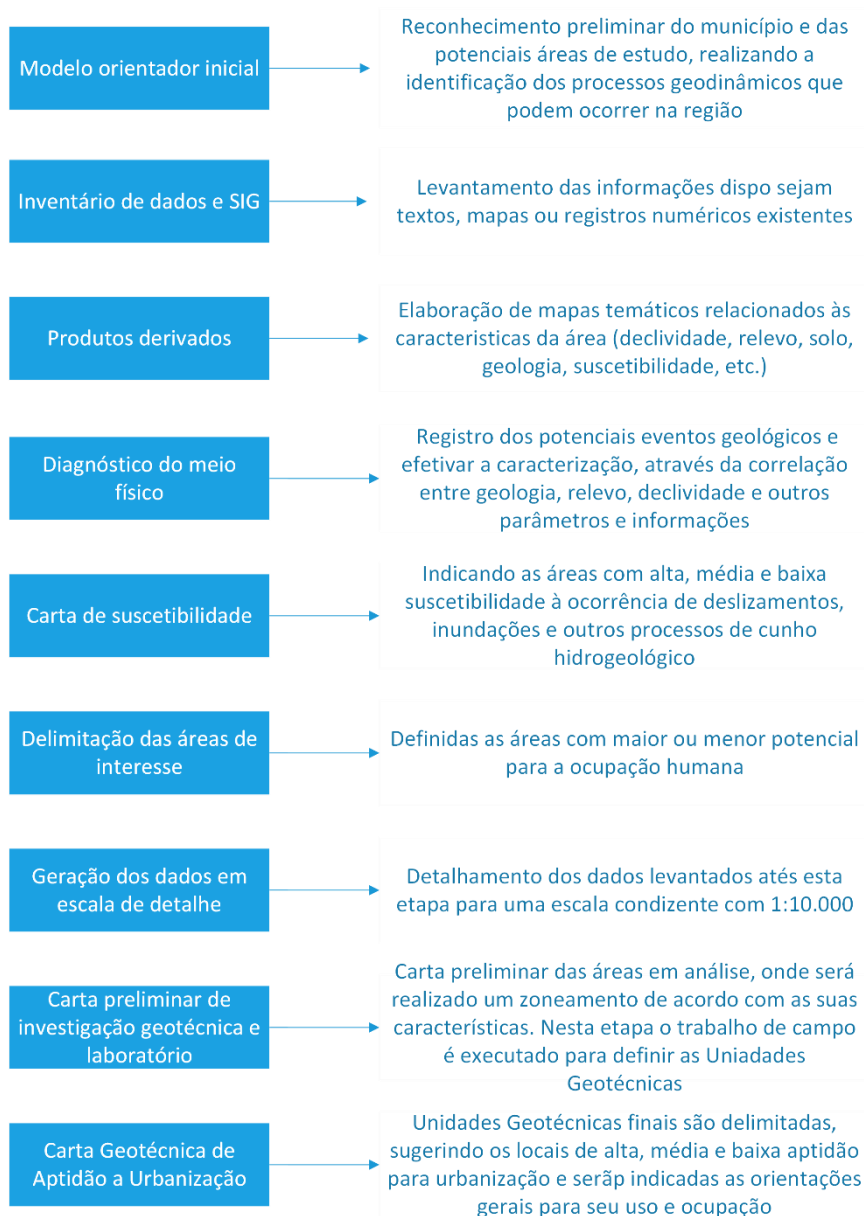


Figura 2 – Descrição da metodologia aplicada.

5. DISPONIBILIZAÇÃO E ESTRUTURAÇÃO BÁSICA DOS DADOS FINAIS

5.1. Produtos Disponibilizados

O produto final da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização do município de Juiz de Fora é composto pelo conteúdo apresentado na Tabela 2. O Conteúdo da pasta SIG (Figura 3) é projetado no Sistema de Coordenadas SIRGAS 2000 UTM Zona 23S. Todos esses dados poderão ser acessados através do Repositório Institucional de Geociências (RIGeo), no link rigeo.cprm.gov.br.

Tabela 2 - Produtos finais da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização

| Produto | Descrição |
|-----------------------------------|--|
| Pasta Cartas em PDF | |
| Carta 1 | Documento cartográfico da Área 1 |
| Carta 2 | Documento cartográfico da Área 2 |
| Carta 3 | Documento cartográfico da Área 3 |
| Pasta SIG | |
| Subpasta Base_Tematica | |
| Areas_Expansao_A | Limites da área de estudo - vetores de crescimento das áreas urbanas |
| Aptidão_Urbana_A | Polígonos de aptidão para urbanização, separados em classes de alta, média e baixa |
| Titulos_Minerarios_A | Áreas com algum tipo de requerimento necessários para a exploração mineral |
| Restricoes_Ocupacao_A | Áreas com algum tipo de restrição legal ou ambiental que não permita ocupação |
| Unidades_Geotecnicas_A | Polígonos das unidades geotécnicas mapeadas |
| Sub pasta Investigações e Coletas | |
| Amostragem_P | Informações dos materiais coletados em campo |
| Subpasta Pontos de Campo | |
| Pontos_de_Campo_P | Informações de todos os pontos de campo realizados |

Nome

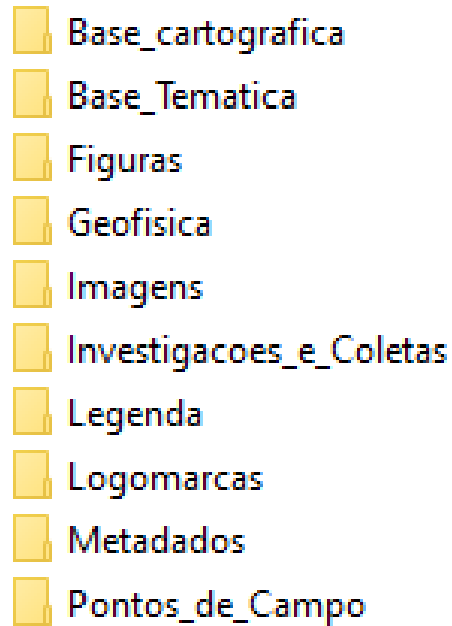


Figura 3 - Estruturação do SIG (* Geofísica pode não estar disponível devido a não necessidade de realização do estudo).

5.2. Caracterização da Área de Estudo

A área do projeto (Figura 4) foi baseada nas áreas de expansão (vetores de crescimento) fornecidas pela Prefeitura Municipal de Juiz de Fora, MG. Com a finalidade de refinar os limites das áreas, alguns trechos foram editados para se adequar a escala de trabalho. Considerando a otimização das etapas de campo, alguns vetores de crescimento não foram analisados.

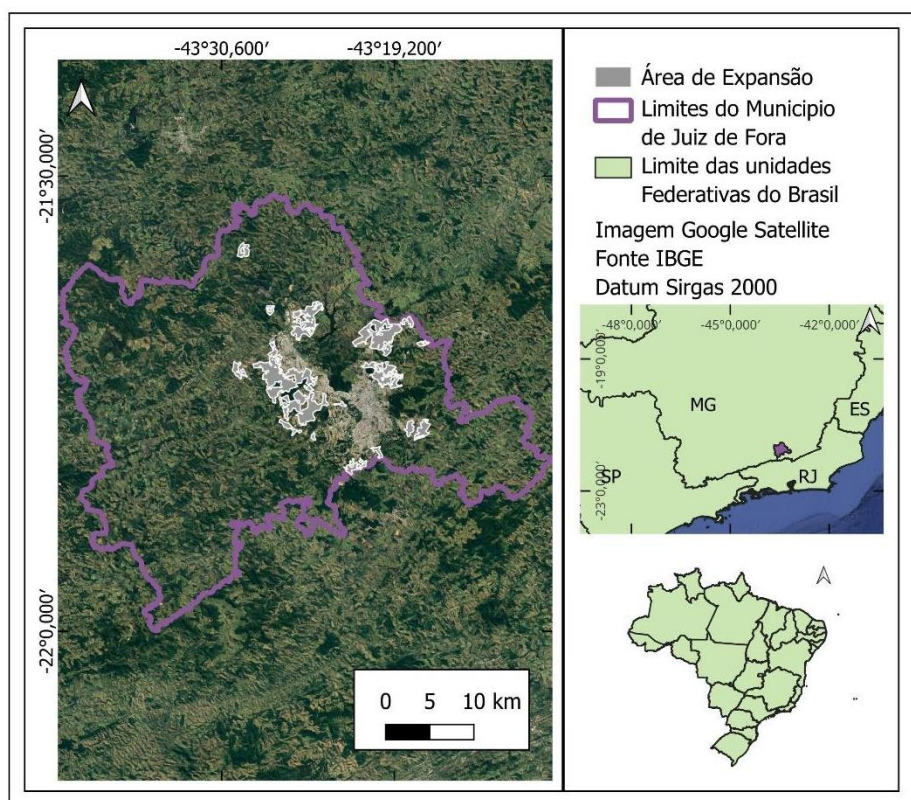


Figura 4 - Mapa de localização

A área total analisada é de aproximadamente 60 km², o que corresponde a 4% do território municipal.

Abaixo são apresentadas as características essenciais do terreno que foram alvo direto das análises realizadas em todas as etapas do projeto.

O presente estudo foi realizado em áreas de expansão sugeridas pela Prefeitura de Juiz de Fora, as quais se encontram adjacentes à área edificada nas proximidades do centro urbano principal do município e em alguns distritos. A área urbana apresenta uma distribuição espacial predominante no sentido norte-sul. A porção sul caracteriza-se por um relevo composto majoritariamente por morros altos e serras, com encostas íngremes. Já as áreas de expansão situadas na região central e seguindo em direção ao norte possuem relevos diferenciados, compostos principalmente por um conjunto de morros baixos com vertentes convexas a côncavas, com gradientes suaves a moderados (entre 5° e 20°), topos arredondados e amplitudes variando entre 50 e 120 metros. Apesar de todo o município apresentar predominância de latossolos e argissolos, essa

última região é a que apresenta solos ainda mais profundos. Também se observam morrotes com até 90 metros de amplitude, apresentando gradientes moderados a acentuados (entre 20° e 30°), além da presença de colinas. Ao longo do município, em todas as áreas de expansão avaliadas, foram identificadas exposições de relevos associados a depósitos aluvionares e planícies de inundação, especialmente nas regiões central e norte (Figura 5).

A área de estudo encontra-se em um contexto geológico complexo, inserida em um terreno tectônico de forma alongada com orientação NE-SW. As litologias encontradas nas áreas de expansão variam conforme a localização geográfica. Na porção sul, predomina a ocorrência de ortogranulitos enderbíticos a charnockíticos, com tipos gabroicos subordinados. Na porção central e norte, observa-se uma predominância de intercalações de hornblenda-biotita ortognaisse tonalítico a granítico, além de biotita gnaisse bandado, com ocorrências subordinadas de granada gnaisse e rocha calcissilicática, acompanhadas de intercalações de quartzito impuro (Figura 6).

Este cenário geológico e geomorfológico revela a diversidade e a complexidade das áreas de expansão urbana, oferecendo uma base importante para o planejamento e a ocupação dessas regiões no município de Juiz de Fora.

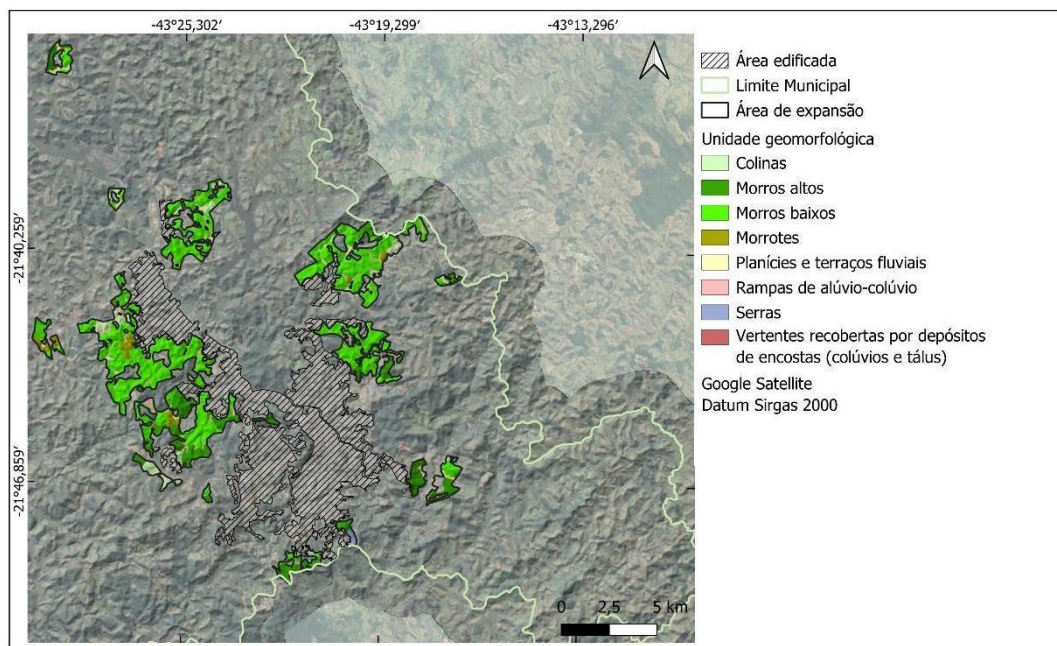


Figura 5 – Mapa geomorfológico modificado de SGB/CPRM (2014).

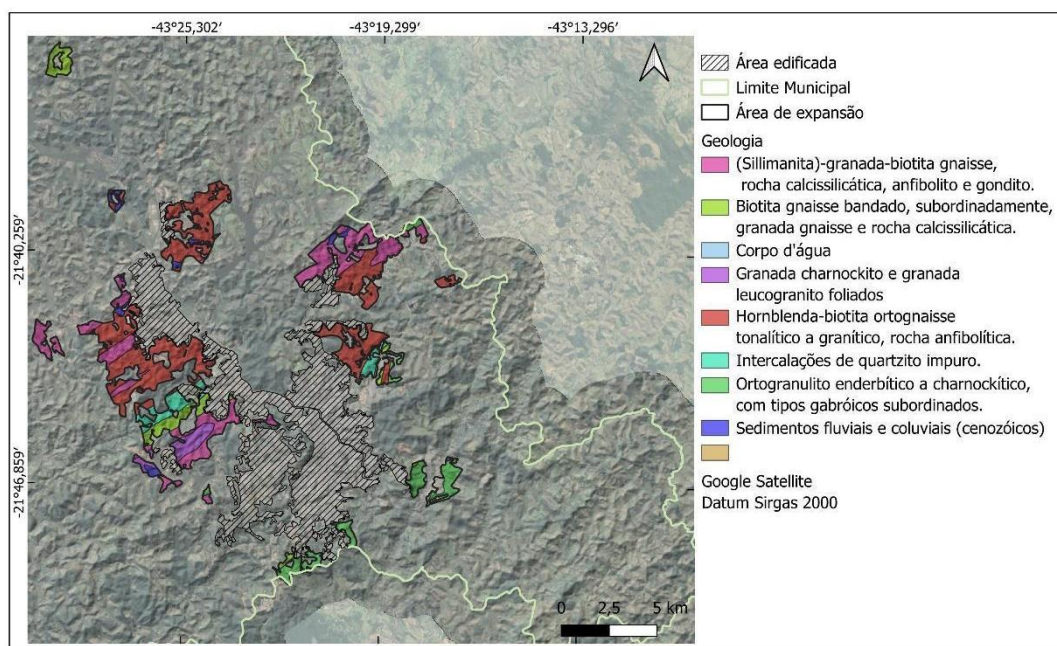


Figura 6 – Mapa geológico modificado de CODEMIG, UERJ (2003).

5.3. Materiais Utilizados

Conforme é apresentado na metodologia, foram levantados os dados do meio físico já existentes para as áreas de trabalho. Para a elaboração dos produtos finais, foram utilizados como fonte principal, os dados abaixo, readequados a escala de trabalho quando necessários.

- Dados coletados em campo: tipos de rochas, coberturas superficiais, relevo, tipo de solo e feições relacionadas a processos de movimento de massa, inundações, enxurradas e erosões;
- Mapas geológicos (Mapa Geológico da Folha Juiz de Fora, SF-23-X-D-IV. Escala 1:100.000. CODEMIG UERJ. 2003);
- Mapa de Coberturas Superficiais elaborados com dados de campo;
- Mapa de solos na escala 1:650.000 produzido pela Universidade Federal de Viçosa (2010);
- Modelagens de movimentos de massa e inundações provenientes da carta de suscetibilidade do município e refinadas em atividade de campo;
- Mapa de padrões de relevo;
- Mapa de declividade (inclinação);
- Mapa hipsométrico (altitude);

Foi disponibilizado pela Prefeitura Municipal de Juiz de Fora um Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução espacial de 5 metros. Este produto foi essencial para a geração de mapas com a resolução necessária para a escala do trabalho.

As imagens óticas foram obtidas a partir da plataforma Google Earth, utilizando serviços de *Web Map Services* (WMS). Em atividade de campo foram geradas imagens através de aeronave remotamente pilotada (RPA/Drone) que foram processadas para auxiliar na interpretação dos dados.

5.4. Ensaio de Laboratório

Durante as atividades de campo foram coletadas 06 amostras de campo. Estas amostras foram analisadas em paralelo pelo Laboratório de Análise Mineral (Lamin) e no Laboratório de Mecânica dos Solos (Lameso-ERJ), ambos do Serviço Geológico do Brasil. As análises realizadas no Lamin foram executadas no município de Manaus, AM, enquanto as demais análises foram feitas na unidade do Lameso-ERJ, localizado no município do Rio de Janeiro, RJ.

O Lamin foi responsável pela análise granulométrica do material fino, através do espalhamento a laser para partículas entre 0,02 a 1000 μ m. O equipamento utilizado foi o Granulômetro Mastersizer 2000 - com dispersor Hydro 2000MU, sendo os dados processados com uso do *software* Mastersizer 2000, conforme Instrução Técnica SGB - IT-03-09-01 (2021).

As amostras encaminhadas ao Lameso-ERJ foram processadas conforme indicado na Tabela 3, onde são exibidos os tipos de ensaios aos quais as amostras foram submetidas e as respectivas normas de procedimentos técnicos referentes.

Através dos ensaios (Figura 7), os diferentes tipos de solo coletados foram classificados, seguindo o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), o que auxilia na determinação da aptidão à urbanização.



Figura 7 - Ensaio realizados: (A) Secagem da amostra, (B) destorroamento do solo, (C) Determinação da densidade e (D) Peneiramento dos finos.

Tabela 3 - Ensaio executados em laboratório

| Ensaio | Norma |
|--|--|
| Umidade higroscópica | Norma 6457 (ABNT, 2016) |
| Densidade e massa específica dos grãos | DNER-ME 093/94 (DNER-ME, 1994) |
| Análise granulométrica por espalhamento a laser | SGB: IT-03-09-01 (2021) |
| Análise granulométrica (peneiramento grosso) | Norma 7181 (ABNT, 2016) |
| Limites de Atterberg (limite de liquidez - LL e limite de plasticidade - LP) | LL: Norma 6459 (ABNT, 2016) LP: Norma 7180 (ABNT, 2016) |

As 06 amostras são constituídas por solos finos, com frações granulométricas apresentadas na Tabela 4. A maioria das amostras possui alta proporção de silte, chegando a 72% na amostra CGT-MG-JF-P-60. Tal fato se reflete na classificação do SUCS, todas as amostras são de siltes com variação no teor de argila e no grau de plasticidade (Tabela 5).

Tabela 4 - Dados referentes aos valores granulométricos.

| Amostra | Frações granulométricas (%) | | | | | Pedregulho |
|----------------|-----------------------------|-------|-------|-------|--------|------------|
| | Argila | Silte | Areia | | | |
| | | | Fina | Média | Grossa | |
| CGT-MG-JF-P-3 | 31,31 | 40,14 | 11,07 | 11,30 | 5,93 | 0,25 |
| CGT-MG-JF-P-7 | 19,03 | 64,45 | 7,94 | 1,65 | 6,25 | 0,68 |
| CGT-MG-JF-P-23 | 4,64 | 48,26 | 21,90 | 13,84 | 8,31 | 3,05 |
| CGT-MG-JF-P-27 | 15,01 | 50,42 | 16,96 | 11,97 | 5,09 | 0,55 |
| CGT-MG-JF-P-34 | 18,14 | 66,07 | 6,56 | 0,13 | 7,69 | 1,41 |
| CGT-MG-JF-P-60 | 8,66 | 72,93 | 9,68 | 0,69 | 7,73 | 0,31 |

Tabela 5 - Dados referentes aos valores de Umidade higroscópica (w) e densidade real dos grãos (Gs), Limites de Atterberg (limite de liquidez - LL e limite de plasticidade - LP) e Classificação SUCS.

| Amostra | w (%) | GS | LL | LP | IP | SUCS |
|----------------|-------|-----|----|----|----|------|
| CGT-MG-JF-P-3 | 3,45 | 2,4 | 51 | 38 | 13 | MH |
| CGT-MG-JF-P-7 | 3,03 | 2,6 | 41 | 22 | 19 | OL |
| CGT-MG-JF-P-23 | 2,47 | 2,6 | 32 | 22 | 10 | OL |
| CGT-MG-JF-P-27 | 1,52 | 2,6 | 35 | 23 | 12 | OL |
| CGT-MG-JF-P-34 | 3,86 | 2,6 | 55 | 32 | 23 | MH |
| CGT-MG-JF-P-60 | 9,43 | 2,2 | 37 | 26 | 11 | ML |

5.5. Ensaios de Permeabilidade

A técnica de determinação da condutividade hidráulica *in situ*, na zona não saturada ou vadosa com uso do Permeômetro de Guelph, é empregada em diferentes ramos do conhecimento, como: na hidrogeologia e geotecnia, mais especificamente em estudos de infiltração em taludes; aplicações no manejo e irrigação; drenagem agrícola; estudos de contaminação de solos; e modelagem de fluxo de água subterrânea. (SOTO et al, 2009).

Esse método possui como vantagens, a capacidade de realizar a medição *in situ*, a simplicidade de uso do equipamento e interpretação dos dados, além de poder ser utilizado em diferentes tipos de terrenos, em diferentes profundidades.

O Permeâmetro de Guelph consiste em um cilindro principal, uma câmara de água, uma haste de medição e uma ponta perfuradora. A câmara de água é responsável por manter um nível constante de água durante o teste, enquanto a haste de medição permite a determinação da altura do menisco de água. A ponta perfuradora é usada para introduzir o equipamento no solo até a profundidade desejada. (Reynolds & Elrick, 1985).

Para a realização do ensaio é necessário fazer a seleção de um local representativo da área e, com a ajuda de um trado, faz-se um furo cilíndrico no solo até a profundidade desejada, com espessura ligeiramente maior que o do cilindro do permeâmetro. Montar o equipamento no local, acrescentar a água ao equipamento. E iniciar o ensaio abrindo a válvula para permitir que a água flua do cilindro para o solo. Ajusta-se a altura do menisco de água utilizando a haste de medição. A água começa a infiltrar no solo e a altura do menisco é registrada em intervalos de tempo pré-determinados.

Depois do ensaio é realizado o cálculo da Condutividade Hidráulica do solo a partir dos dados de infiltração, utilizando-se da equação de Richards, adaptada para o Permeâmetro de Guelph (Elrick & Reynolds, 1992):

$$K_s = \frac{Q}{A} \cdot \frac{H}{h + H}$$

Onde:

K_s é a condutividade hidráulica saturada do solo;

Q é a taxa de fluxo de água (volume por unidade de tempo);

A é a área da base do cilindro;

H é a altura da coluna de água na câmara;

h é a altura do menisco de água no solo.



Figura 8 – Realização da sondagem para instalação do permeâmetro e equipamento realizando o ensaio, respectivamente.

Segundo Mello e Teixeira (1967), a classificação granulométrica dos solos com base no coeficiente de permeabilidade (k) é uma ferramenta para melhor compreender o comportamento hidráulico dos solos. A classificação é dividida em intervalos que indicam a facilidade com que a água pode fluir através de diferentes tipos de solo. A seguir (Tabela 6), seguem os dados com a categorização com base nos valores de k :

Tabela 6 - Classificação granulométrica segundo o coeficiente de permeabilidade, modificado de MELLO e TEIXEIRA, 1967.

| condutividade hidráulica k (cm/s) | Grau de Permeabilidade | Tipo de solo |
|-------------------------------------|---------------------------|---|
| $> 10^{-1}$ | muito permeáveis | Pedregulhos |
| $10^{-1} \geq k > 10^{-3}$ | permeáveis | Areia |
| $10^{-3} \geq k > 10^{-4}$ | moderadamente permeáveis | Areias finas siltosas e argilosas, siltes argilosos |
| $10^{-4} \geq k > 10^{-5}$ | pouco permeáveis | |
| $10^{-5} \geq k > 10^{-7}$ | muito pouco permeáveis | |
| $k \leq 10^{-7}$ | praticamente impermeáveis | Argilas |

Os solos analisados correspondem a solos residuais, produto de alteração de rochas gnáissicas e/ou magmáticas, quartzitos e granodioríticas. A seleção dos pontos deve-se a tentativa de caracterizar as principais unidades geotécnicas presentes na área de estudo.

Os resultados obtidos com os testes de permeabilidade apresentaram valores relativamente próximos entre si (Tabela 7), exceto pelo ponto P7 que apresentou uma permeabilidade menor da ordem de 10⁻⁵ cm/s.

Tabela 7 - Resultados permeabilidade, granulometria e índices de plasticidade.

| Amostra | P2 | P3 | P7 | P27 | P34 |
|---|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-------------|
| condutividade hidráulica (K) (carga simples - H-10) | 1,25E-04 | 1,50E-04 | 1,25E-05 | 2,49E-04 | 3,49E-04 |
| condutividade hidráulica (K) (carga simples - H-15) | – | 1,71E-04 | – | 3,43E-04 | 3,43E-04 |
| Areia (%) | – | 28 | 16 | 34 | 15 |
| Silte (%) | – | 41 | 64 | 50 | 66 |
| Argila (%) | – | 31 | 19 | 15 | 18 |
| LL | – | 51 | 41 | 35 | 55 |
| LP | – | 38 | 22 | 23 | 32 |
| IP | – | 13 | 19 | 12 | 23 |
| Unidade Geotécnica (siglas) | UG_Co-SR/MR-g.m | UG_Co-SR/MR-g.m | UG_Co-SR/MR-qz | UG_Co-SR/MR-g.m | UG_Co-SR/Gt |

Conforme classificação proposta por Mello e Teixeira (1967), todas as amostras analisadas incidem no campo composto por areias finas siltosas e argilosas e siltes argilosos, o que vai de encontro com a análise granulométrica feita nas amostras. Já quanto ao Grau de Permeabilidade, somente a amostra P7 foi classificada como sendo muito pouco permeável, sendo as demais classificadas como pouco permeáveis.

6. RESULTADOS

A interpretação de todos os dados obtidos através do levantamento preliminar, modelagens, atividades de campo e ensaios laboratoriais, resultaram em dois planos de informação principais: as unidades geotécnicas e as áreas aptas à urbanização. A primeira é a combinação do substrato litológico com as coberturas inconsolidadas. A segunda é a integração entre as áreas classificadas quanto a suscetibilidade a movimentos de massa e inundações e




as unidades geotécnicas, resultando em áreas de baixa, média e alta aptidão à urbanização.

A seguir são descritas as principais características das áreas aptas e das unidades geotécnicas, identificadas no município.

6.1. Classes de Aptidão à Urbanização Frente a Movimentos de Massa, Enchentes e Inundações

A avaliação da aptidão à urbanização desenvolvida pelo Serviço Geológico do Brasil avalia as condições do terreno visando o planejamento urbano, com uma abordagem focada principalmente nas condições do terreno frente a desastres naturais. A aptidão também leva em consideração as unidades geotécnicas, que possam caracterizar o terreno como propenso, eventualmente, a processos naturais específicos, tais como colapso (solos colapsíveis) ou grandes recalques (argilas moles). As classes de aptidão são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Classes de Aptidão e suas características

| Símbolo no mapa | Classe | Características |
|---|--------|--|
|  | Alta | Áreas sem restrição à urbanização ou já consolidadas do ponto de vista geológico-geotécnico |
|  | Média | Áreas com restrições geotécnicas, mas que podem ser ocupadas segundo determinados critérios técnicos e diretrizes (áreas consolidáveis com intervenções estruturantes) |
|  | Baixa | Áreas com severas restrições para a ocupação e/ou áreas caracterizadas como não consolidáveis do ponto de vista geológico-geotécnico, às quais se deve dar outro tipo de uso devido ao alto custo para urbanização |

Para a avaliação dos locais alvo deste trabalho, foram aplicadas diversas metodologias realizadas pelo Serviço Geológico do Brasil. Destacam-se principalmente avaliação da Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações e a avaliação do Perigo Geológico. A suscetibilidade apresenta a propensão do terreno à ocorrência de deslizamentos e inundações, enquanto a avaliação do perigo geológico tem como objetivo identificar as áreas

de alcance potencial do atingimento do material mobilizado durante um movimento gravitacional de massa.

6.2. Descrição das Unidades Geotécnicas

Os terrenos encontrados na área estudada apresentam diferentes comportamentos e propriedades geotécnicas que refletem as interações entre os condicionantes do meio-físico, tais como as litologias e sua evolução tectônica; as coberturas inconsolidadas compreendendo todo o pacote intemperizado que capeia o substrato rochoso; a compartimentação geomorfológica regional que pode condicionar, potencializar e acelerar os problemas geotécnicos relacionados com a dinâmica das vertentes, principalmente os relacionados a eventos de movimentos de massa nas áreas de relevo mais acidentado.

As unidades geológico-geotécnicas definidas e caracterizadas neste mapeamento refletem a tendência do comportamento dos terrenos frente às solicitações decorrentes dos processos de urbanização futuros, sob o ponto de vista da geologia de engenharia.

Foram definidas 06 unidades geológico-geotécnicas cuja denominação e siglas adotadas foram estabelecidas com a finalidade de possibilitar, da forma mais direta possível, a identificação de algumas características geotécnicas específicas e definidoras da unidade.

Unidade Geotécnica 1 – Depósitos Aluvionares Arenosos e ArenoArgilosos - UG_AI-ar.ag

Constituída por materiais predominantemente arenosos depositados após uma sequência de processos no qual este material foi erodido, retrabalhado e transportado pela água nos leitos e margens de rios, córregos, ribeirões e outros cursos d'água. Constituem as planícies de inundação e principalmente os terraços fluviais. Estes sedimentos apresentam-se dispostos sob a forma de camadas e/ou lentes que afloram nas margens dos rios.

Esta unidade compreende relevo plano a pouco ondulado, com amplitude variando entre 1 a 5 metros e as inclinações entre 1° e 5° graus. A capacidade de suporte é variável, desde baixa nas camadas mais argilosas até média a alta nas camadas arenosas e areno-siltosas. A escavabilidade é boa (1ª categoria) nos locais com maior espessura de material arenoso e/ou argiloso. Entretanto, poderão existir dificuldades de escavação pela baixa coesão do material e do nível d'água próximo à superfície. Os níveis argilosos são compressíveis, e neles podem ocorrer recalques em fundações, aterros, infraestruturas subterrâneas e pavimentos viários.

A possibilidade de desenvolvimento de processos erosivos varia de moderada a alta, pelo solapamento ao longo das margens dos rios e terraços arenosos. Na área de estudo, é encontrada em espessuras variadas, desde centimétricas a métricas, sendo que as maiores espessuras ficam nas margens do Rio Paraibuna e em seus principais afluentes. Por se localizar próximo a drenagens e apresentar alta suscetibilidade à inundação, para a ocupação são necessários trabalhos de detalhe em relação à capacidade de suporte, para o entendimento do comportamento hidrológico e afastar-se de possíveis áreas de proteção. Nos níveis arenosos que são permeáveis, pode ocorrer a contaminação do lençol freático quando este é encontrado a pouca profundidade em relação à superfície dos terrenos.



Figura 9 - Depósito aluvionar ladeado por morros baixos, próximo ao ponto 63.

Unidade Geotécnica 2 – Alúvio-Colúvio - UG_AI-Co

Esta unidade consiste de sedimentos de natureza silto-argilo-arenoso, provenientes das encostas, e que são decorrentes da desagregação dos solos residuais transportados pelas águas das chuvas e gravidade. Podem se encontrar retrabalhados em ambientes fluviais e interdigitados a sedimentos aluviais argilosos e/ou arenosos depositados ao longo das calhas dos cursos d'água. Forma rampas suaves, estreitas e alongadas nos sopés das vertentes menos abruptas com extensões variáveis, podendo capear indistintamente unidades litológicas de origem e idades diversas.

As inclinações nesta unidade são suaves a moderadas (5° a 10°). A probabilidade de ocorrência de processos erosivos é moderada, sendo possível observar erosões laminares, sulcos e ravinas. A probabilidade de ocorrência de movimentos de massa em geral é baixa a moderada nas áreas de relevo mais acentuado.

São geralmente áreas sujeitas ao atingimento por materiais provenientes de processos de movimento de massa, deflagrados nas vertentes mais íngremes à montante. A suscetibilidade à inundação, em geral, é baixa. A composição do material associada ao nível d'água próximo à superfície, em virtude da

proximidade com rios, faz com que haja risco de recalque em fundações. Do ponto de vista geotécnico esta unidade possui fácil escavabilidade (1ª categoria) e moderada capacidade de suporte. Camadas de cascalho podem, localmente, dificultar a escavabilidade (2ª e/ou 3ª categoria). Podem ser encontradas exposições em todas as áreas de estudo, principalmente na porção central e norte da área de estudo.



Figura 10 – Imagem área de depósitos de Rampas de Alúvio-Colúvio.

Unidade Geotécnica 3 – Colúvio/Residual com Substrato de Gnaisses e/ou Migmatitos- UG_Co-Sr/MR-g.m

Esta unidade foi associada aos gnaisses de diferentes composições mineralógicas. Ocorre como uma combinação de materiais inconsolidados capeando o substrato rochoso constituído por gnaisses e migmatitos do embasamento cristalino. O bandamento/foliação é bem marcante com direção geral SW-NE.

Esta unidade ocorre associada a relevos, principalmente, de morro baixos e colinas, com vertentes íngremes. Na superfície, a unidade pode ocorrer sob a forma de depósitos coluvionares próximos à fonte, pouco retrabalhado pelo

transporte, ou como solo residual jovem, silte-argiloso e de maior coesão, portanto menos sujeitos à erosão. Subjacente a este horizonte superficial ocorrem horizontes de solo residual estruturado de espessura superiores a 05 metros, constituído por camadas silto-arenosas, friáveis e geralmente erodíveis, que mostram estruturas reliquias das rochas de origem.

A feição menos evoluída destes solos residuais é constituída por horizontes de saprólito que estão sobrejacentes ao maciço rochoso. O saprólito é friável e bastante instável, apresenta significativa heterogeneidade vertical e lateral, em virtude das características da rocha original, com alternância entre bandas composicionais mais e menos quartzosas e anfibolíticas ou biotitas. A escavabilidade dos terrenos desta Unidade nos horizontes de colúvio é, em geral, fácil (1a categoria), passando a moderada no solo residual maduro, pois nele predominam materiais de 2a categoria de escavação, lamináveis e escarificáveis. Nos horizontes inferiores a presença de rocha muito alterada intercalada com o saprólito pode dificultar as escavações que deverão ser efetuadas por meio de desmonte com explosivos, caracterizando-se como materiais de 3a categoria. A capacidade de suporte dos horizontes de colúvio é, em geral, baixa. Já nos horizontes de solo residual e saprólito é variável, entre média e alta.

A suscetibilidade à erosão nos horizontes de solo residual varia de baixa a alta, sendo baixa para os solos residuais maduros e coluvionares e alta para os saprolitos. Esta unidade está associada a áreas íngremes de suscetibilidade média a alta a movimentos de massa. Podem ser encontradas nas áreas de expansão localizadas na porção central e a norte do município.



Figura 11 - Área utilizada como empréstimo de material, com exposição do horizonte solo residual estruturado, constituído por camadas silto-arenosas, friáveis e erodíveis.

Unidade Geotécnica 4 – Colúvio/Residual com substrato de Quartzitos - UG_Co-Sr/MR-qz

Essa unidade é associada aos quartzitos impuros. É formada pelo conjunto entre o material inconsolidado na superfície, formado por solo residual silte-arenoso ou depósitos gravitacionais coluvionares e o substrato rochoso constituído por intercalações de quartzito impuros.

Esta unidade ocorre associada a relevos, de morro baixos, o solo residual quando ocorre, apresenta espessura superior a 1,0 m de profundidade. Sua composição é principalmente de fragmentos rochosos de tamanhos variados, em meio a uma matriz silte-arenosa. O colúvio quando ocorre, apresenta espessura variando conforme a posição no depósito.

A coesão entre os grãos em ambos é baixa. Devido à baixa coesão, esses solos residuais são altamente suscetíveis a processos erosivos. A escavabilidade dos terrenos nesta unidade é, em geral, fácil (1ª categoria) na cobertura e moderada (2ª categoria) no substrato rochoso. A capacidade de suporte desta unidade,

tanto no solo residual quanto no colúvio, é média. No substrato rochoso, varia de média a alta.

Nos perfis em cortes analisados em campo, foi constatado um grau de fraturamento variando de moderado a baixo. A suscetibilidade a movimento de massa é controlada, principalmente, pelas discontinuidades que seccionam os maciços rochosos, sendo alta quando as características geomorfológicas das encostas forem desfavoráveis ou quando são realizados cortes inadequados, que não considerem fatores de instabilidade. Podem ser encontradas nas áreas de expansão localizadas na porção central do município.



Figura 12 – Imagem panorâmica próximo ao ponto 07.

Unidade Geotécnica 5 - UG_Co-SR/Gt Colúvio/Residual com substrato de Rochas Metamórficas muito resistentes

Esta unidade ocorre associada a relevos, principalmente, de morro altos e serras. Composta por material inconsolidado que capeia o substrato rochoso constituído por rochas ortogranulíticas a charnockíticas. Geralmente são espessas camadas que podem ocorrer tanto sob a forma de depósito coluvial, como solo residual maduro, mais argiloso e de boa coesão.

A susceptibilidade e movimentos de massa é variável, sendo alta quando as características geomorfológicas das encostas forem desfavoráveis ou quando são realizados cortes inadequados, que não considerem fatores de estabilidade. A capacidade de suporte no colúvio é baixa, sendo mais elevada nos terrenos onde há solo residual maduro. A escavabilidade no colúvio e no solo residual variam de fácil a moderada. No saprólito subjacente ao substrato rochoso pode haver dificuldade em escavações. (3ª categoria). Podem ser encontradas nas áreas de expansão localizadas na porção sul do município.



Figura 13 - Vista de afloramento representativo da unidade, próximo ao ponto 20.

Unidade Geotécnica 6 - UG_T-Co/Gt Tálus com Colúvio Subordinado e substrato de Rochas Metamórficas muito resistentes

Depósitos instáveis, associados a relevos de morros altos, constituídos por materiais incoerente e heterogêneos, muito mal selecionados, variando desde blocos de rocha e matacões, geralmente em grandes quantidades, até as frações finas, de areia, silte e argila. São porosos e permeáveis, cujas espessuras e extensões são muito variáveis, e que se acumulam nas encostas com grandes amplitudes e declividades, e nos sopés das mesmas. Os blocos e matacões

enterrados podem comprometer a execução de obras, mascarando a real capacidade de suporte desses terrenos.

A heterogeneidade destes terrenos dificulta as escavações por conterem materiais de 1º, 2º e 3º categorias juntos. O potencial para a ocorrência de movimentos de massa é alto pela baixa coesão dos materiais, sendo altamente desfavoráveis a cortes e aterros. Podem ser encontradas nas áreas de expansão localizadas na porção sul do município.



Figura 14 - Vista panorâmica de depósito de tálus, próximo ao ponto 16.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro. 2016.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro. 2016.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180: Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro. 2016.
- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro. 2016.
- ANDRÉ, M. C. S., VALADARES, C. S., & DUARTE, B. P. (2009). *Análise da geomorfologia da região de Juiz de Fora-MG: Implicações para o planejamento urbano*. Revista Brasileira de Geomorfologia, 10(2), 45-57.
- ANTONELLI, T. et al. Guia de procedimentos técnicos do Departamento de Gestão Territorial: volume 2, versão 1: cartas geotécnicas de aptidão para urbanização. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. Brasília, p. 23. 2021.
- BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC [...]. Brasília, 2012.
- CODEMIG, UERJ. Mapa Geológico da Folha Juiz de Fora, SF-23-X-D-IV. Escala 1:100.000. Belo Horizonte: Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG), Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), 2003.
- DNER-ME. 093: Solos - determinação da densidade real. [S.l.]. 1994.
- ELRICK, D. E., & REYNOLDS, W. D. (1992). Methods for analyzing constant-head well permeameter data. Soil Science Society of America Journal, 56(4), 982-986.
- UFV, Universidade Federal de Viçosa. Mapa de solos do Estado de Minas Gerais: legenda expandida / Universidade Federal de Viçosa; Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais; Universidade Federal de Lavras; Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. 49p.
- MELLO, V. F. B; TEIXEIRA, A. H. 1967. Mecânica de solos. São Carlos: Escola de Engenharia. RAGAB, R.; COOPER J. D. 1990. Variability of unsaturated zone water transport parameters: Implications for hydrological modelling.1. In situ measurements. Journal of Hydrology. v.148.

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E. In situ measurement of field saturated hydraulic conductivity, sorptivity and the α -parameter using the Guelph permeameter. *Soil Science*, v.140, n° 4, 1985. p. 292– 302.

SGB/CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Mapa de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações: Município de Juiz de Fora - MG. Escala 1:25.000. Belo Horizonte: CPRM, 2014.

SOTO, MIGUEL ALFARO; CHANG, KIANG HUNG; VILAR, ORENCIO MONJE. Análise do método do permeâmetro Guelph na determinação da condutividade hidráulica saturada. *Águas Subterrâneas*, v. 23, n. 01, p. 137-152, 2009.

SILVA, A. M., PEREIRA, R. S., OLIVEIRA, L. C., & SOUZA, F. R. (2002). Geomorfologia e uso do solo na região de Juiz de Fora: Um estudo de caso. *Anais do Simpósio Brasileiro de Geomorfologia*, 7, 158-165.



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

