



**Cartas Geotécnicas Aplicadas ao Planejamento  
Urbano: Estudo de Caso no Setor Habitacional Taquari/ DF**  
Geotechnical Maps Applied to Urban  
Planning: Case of Study in Taquari Habitational Sector/ DF

Bruno Rodrigues de Oliveira<sup>1</sup>; Eleudo Esteves de Araujo Silva Junior<sup>2</sup> & Newton Moreira de Souza<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação (SEDUH),  
SCS Quadra 06 Bloco "A", CEP 70.306-918, Brasília, DF, Brasil*

<sup>2</sup> *Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental/FT,  
Campus Universitário Darcy Ribeiro, CEP: 70910-900, Brasília, DF, Brasil  
E-mails: brunorodriguesoli@gmail.com; eleudo@unb.br; nmsouza@unb.br*

Recebido em: 01/04/2019    Aprovado em: 22/07/2019

DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2019\\_3\\_98\\_111](http://dx.doi.org/10.11137/2019_3_98_111)

## Resumo

As cartas geotécnicas de aptidão a urbanização são instrumentos essenciais ao planejamento urbano sendo elaboradas visando subsidiar projetos de urbanização e consolidação urbana dos municípios em locais mais adequados, evitando assim a ocupação de perigosas ou que apresentem algum risco. A metodologia utilizada neste trabalho emprega o conceito de detalhamento progressivo e consiste em duas fases com 8 etapas de trabalho distintas. A primeira fase consistiu na compilação de dados pré-existentes, elaboração de cartas analíticas, do modelo conceitual da área e da elaboração da carta de suscetibilidade a fenômenos geodinâmicos (deslizamentos planares, fluxo de detritos, inundações e processos erosivos), utilizada para restringir as áreas a serem ocupadas na carta de aptidão nas zonas que apresentaram alta suscetibilidade. Na segunda fase foi realizada a fotointerpretação, compartimentação fisiográfica seguidas de levantamentos de campo (mapeamento e ensaios de infiltração com permeâmetro Guelph) que foram utilizados para atualizar o modelo conceitual para um modelo observacional. Por fim uma carta geotécnica foi elaborada integrando as unidades fotointerpretadas com as informações do modelo observacional elaborado, cujas unidades foram interpretadas para a elaboração da carta de aptidão a urbanização. A Carta Geotécnica de Aptidão a Urbanização elaborada foi subdividida em três classes principais (aptidão alta, média e baixa a inexistente), as quais foram subdivididas conforme as restrições e aptidões dos terrenos, totalizando sete unidades. Para cada unidade são apresentadas as características geotécnicas, os fenômenos geodinâmicos passíveis de ocorrência e as recomendações para a ocupação.

**Palavras-chave:** Setor Habitacional Taquari; Mapeamento Geotécnico; Avaliação de Terreno

## Abstract

Geotechnical maps of aptitude to urbanization are essential tools for urban planning and are designed to support urbanization and urban consolidation projects of the municipalities in more appropriate places, thus avoiding the occupation of hazard areas that present some kind of risk. The methodology used in this work uses the concept of progressive detailing and consists of two phases with 8 different work steps. The first phase consisted of the compilation of preexisting data, the preparation of analytical maps, the conceptual model of the area and the preparation of the susceptibility map to geodynamic phenomena (shallow mass movements, floods and erosion processes), used to restrict the area for areas that did not present high susceptibility. In the second phase, photointerpretation was performed, physiographic compartmentalization followed by field surveys (mapping and Guelph permeameter infiltration tests) that were used to update the conceptual model for an observational model. In the end, a geotechnical map was elaborated integrating the photointerpreted units with the information of the observational model elaborated, whose units were interpreted for the elaboration of the map of aptitude to urbanization. The Geotechnical Map of Aptitude to Urbanization elaborated was subdivided into three main classes (high, medium and low to non-existent), which were subdivided according to the restrictions and aptitudes of the lands, totaling seven units. For each unit, the geotechnical characteristics, the occurrence of geodynamic phenomena and the recommendations for the occupation are presented.

**Keywords:** Habitation Sector Taquari; Geotechnical Mapping; Terrain Evaluation

## 1 Introdução

Um processo de planejamento urbano tem como propósito ordenar, articular e equipar o espaço, de maneira racional, direcionando a malha urbana, assim como suas áreas ou zonas, a determinados usos e funções (Philippi *et al.*, 2004). Já um planejamento urbano com uma preocupação ambiental deve ter como objetivo o uso adequado do solo para o desenvolvimento local e a proteção dos recursos naturais, nunca desvinculando das políticas urbanas, buscando-se a distribuição igualitária dos benefícios sociais (Honda *et al.*, 2015). De forma a subsidiar o parcelamento e desmembramento da área a ser ocupada de maneira apropriada é necessário que estes estejam fundamentados em cartas geotécnicas que apresentem as aptidões, limitações e possíveis impactos que podem ser desencadeados no meio físico devido ao processo de urbanização.

Diniz & Freitas (2013) definem a carta geotécnica como a síntese do conhecimento sobre o meio físico e seus processos atuantes de modo a subsidiar o estabelecimento de medidas para a adequada ocupação do solo. As cartas geotécnicas têm como objetivo fornecer informações dos componentes do meio físico e do ambiente que sejam significativos ao objetivo da carta e que auxiliem a harmonizar a relação entre o homem e o meio ambiente sem gerar impactos negativos à ambas as partes.

A carta geotécnica constitui ferramenta básica essencial à prevenção e à correção de situações relacionadas a desastres naturais e tecnológicos (Coutinho, 2013). Ela também tem o importante papel de realizar a comunicação entre os geólogos e os planejadores, usualmente arquitetos urbanistas, permitindo que aspectos do meio ambiente seja considerados durante o planejamento.

A Cartografia Geotécnica se sobressai quando utilizada para fins de prevenção de desastres e no planejamento urbano, visto que estas fornecem aos administradores públicos informações sobre as limitações de áreas susceptíveis a fenômenos geodinâmicos e orienta a forma de ocupação em áreas que apresentem

algum tipo de restrição ambiental e/ou geotécnica (Santos, 2017).

A Lei nº 12.608/2012 institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) que tem como objetivo integrar-se às políticas de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano, saúde, meio ambiente, mudanças climáticas, gestão de recursos hídricos, geologia, infraestrutura, educação, ciência e tecnologia e às demais políticas setoriais, tendo em vista a promoção do desenvolvimento sustentável (Brasil, 2012).

A lei supracitada, além de outras atribuições, também determina instrumentos para a PNPDEC visando direcionar os esforços de gerenciamento de risco de desastres para o âmbito preventivo, com intuito de criar uma cultura nacional de prevenção de desastres. Dentre as ações para a prevenção de desastres estão incluídos o mapeamento das áreas de risco a movimentos gravitacionais de massa e inundação e a elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização.

Os produtos supracitados não só fornecem subsídio para o parcelamento e desmembramento da área a ser ocupada no processo de uso e ocupação de novas áreas, mas também na recuperação de locais que já foram parcelados e apresentam urbanização precária e/ou situações de risco (Diniz & Freitas, 2013).

Com a implementação desta política pública no país, várias metodologias de elaboração de cartas geotécnicas com a finalidade de planejamento urbano estão sendo desenvolvidas por instituições de ensino, pesquisa e empresas públicas. Este trabalho visa colaborar para o aperfeiçoamento dessas metodologias apresentando uma proposta metodológica para a aquisição das informações no nível de detalhamento adequado para a elaboração de cartas geotécnicas aplicadas ao planejamento urbano.

## 2 Área de Estudo

A área de estudo escolhida foi o trecho 2 da etapa 1 do Setor Habitacional Taquari (SHTq), loca-

lizado no Distrito Federal (DF) (Figura 1). O SHTq, com uma área de aproximadamente de 7 km<sup>2</sup>, está localizado em área privilegiada na Região Administrativa do Lago Norte e próximo à Torre de TV Digital. Com a construção da Torre, ocorreu uma tendência de valorização das terras desse setor habitacional. A área é limitada pelo córregos do Jerivá ao sul, córregos do Sagui e Ponte ao norte, pela DF 005 ao leste e pelo lago Paranoá a oeste.

## 2 Procedimentos para a Elaboração das Cartas Geotécnicas

A metodologia utilizada neste trabalho emprega o conceito de detalhamento progressivo aplica-

do à elaboração de cartas geotécnicas aplicadas ao planejamento urbano proposto por Sobreira & Souza (2012) e consiste em duas fases com 8 etapas de trabalho distintas, as quais serão detalhadas nos seus respectivos tópicos. De forma sucinta, a primeira fase consistiu na compilação de dados pré-existentis (imagens de sensoriamento remoto, mapas geomorfológico, pedológico, hidrogeológico, geológico), elaboração de cartas derivadas (MNT, declividade, orientação de vertentes, fluxo acumulado, altura vertical da drenagem mais próxima e curvatura do terreno), do modelo conceitual orientativo e da elaboração da carta de suscetibilidade a fenômenos geodinâmicos (deslizamentos planares, fluxo de detritos, inundações e processos erosivos).

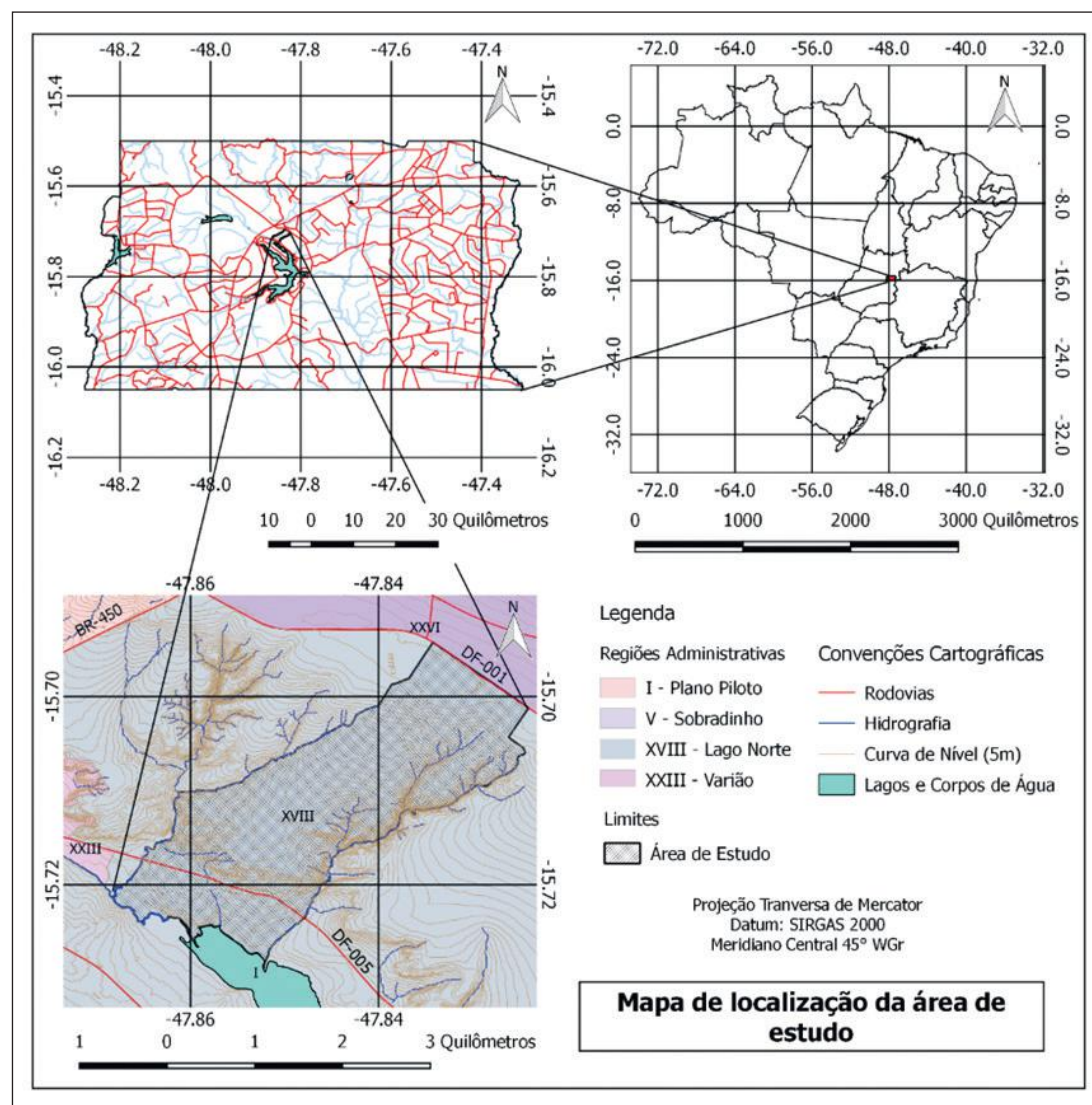


Figura 1  
 Localização da área de estudo.

Na segunda fase foi realizada a fotointerpretação, compartimentação fisiográfica seguidas de levantamentos de campo (mapeamento geológico-geotécnico e ensaios de infiltração com permeâmetro Guelph) que foram utilizados para atualizar o modelo conceitual para um modelo observacional. Por fim a carta geotécnica foi elaborada integrando as unidades fotointerpretadas com as informações do modelo observacional elaborado, cujas unidades foram interpretadas para a elaboração da carta de aptidão a urbanização.

## 2.1 Inventário dos Dados Pré-Existentes e Inserção em Ambiente SIG

Nesta etapa foi elaborado o inventário dos dados existentes sobre a região, os quais foram inseridos em um base de dados, acessado pelo programa Quantun GIS 2.18. O Quantum GIS (QGIS) é um Sistema de Informação Geográfica de Código Aberto com Licença Pública Geral GNU. O QGIS é um projeto oficial da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo) e suporta inúmeros formatos vetoriais, matriciais, e de bases de dados. O programa foi utilizado para a elaboração dos produtos cartográficos e gerenciamento dos dados compilados.

Os dados compilados foram fotografias aéreas, ortofotos e imagens orbitais, base topográfica na escala 1:10.000 do Geoportal (2018), vias de acessos principais e secundários, mapas geomorfológico, pedológico, hidrogeológico, geológico e ambiental da área em estudo e o levantamento de ocorrências de fenômenos geodinâmicos (fluxo de detritos, deslizamentos planares, processos erosivos e inundações), identificados a partir da interpretação de imagens e visitas a campo. Estes fenômenos são brevemente apresentados a seguir.

Os fluxo de detritos são eventos caracterizados por rápido deslocamento (m/s) de massa fluida de alta viscosidade, composta, principalmente, por solo, rocha, vegetação, detritos de origem antrópica e água (Tominag, 2012a *apud* CPRM, 2018).

O deslizamento planar é o tipo de deslizamento mais frequente no Brasil e normalmente, desenvolve-se durante ou logo após intensos episódios

de chuva. Caracteriza-se por curta duração e rápido deslocamento de materiais, os quais se movimentam segundo planos de fraqueza associados às heterogeneidades geológicas, geotécnicas ou hidrológicas do maciço (Gerscovich, 2012 *apud* CPRM, 2018).

A inundação consiste no atingimento e submersão da planície aluvial pelo transbordamento das águas do canal principal do rio, devido à evolução do processo de enchente ou cheia caracterizada pela elevação temporária do nível d'água cujo excesso d'água podem alcançar desde a planície aluvial atual até outros terrenos mais elevados, situados em flancos de encostas adjacente (Bitar, 2014).

A erosão consiste no processo de perda de solo da crosta terrestre, eu pode ser ocasionado por agentes naturais ou antrópicos, tendo natureza química e/ou física e ainda biológica. Isso pode se dar por salpicamento, ravinas, voçorocas entre outros (Alves, 2007).

## 2.2 Interpretação dos Dados e Geração de Produtos Cartográficos Derivados

A partir da base topográfica e das imagens compiladas, foram geradas cartas derivadas de extrema relevância para a compreensão do meio físico e para as análises subsequentes.

### 2.2.1 Modelo Numérico de Terreno

O modelo numérico de terreno (MNT) foi elaborado a partir das curvas de nível e os pontos cotados utilizando o interpolador RTI (Rede Triangular Irregular). O MNT foi utilizado para a elaboração das cartas de declividade, curvatura, fluxo acumulado, altura vertical da drenagem mais próxima e cálculo das amplitudes de relevo.

### 2.2.2 Carta de Declividade

O plano de informação de declividade foi fatiado em seis faixas, definidas com base nos critérios apresentados a seguir:

- a) 0 a 2% - São áreas sujeitas a acúmulo de água e passíveis de inundação e alagamentos caso

estejam sobre influência de corpos de água (Dantas, 2010);

- b) 2 a 8% - São áreas sujeitas a inundação e alagamentos caso estejam sobre influência de corpos de água e onde são registrados processos deposicionais (Dantas, 2010);
- c) 8 a 15% - A partir dessa faixa os processos erosivos começam a ficar significativos. Limite máximo do emprego da mecanização na agricultura e inclinação máxima longitudinal tolerável nas vias para circulação de veículos. (Cunha, 1991; De Biasi, 1992; Reckziegel, 2012);
- d) 15 a 30% - Inclinação máxima prevista pela lei nº 6766/1979 para ocupação de encostas e a partir dessa faixa os movimentos de massa começam a ficar significativos (Cunha, 1991; Reckziegel, 2012);
- e) 30 a 45% - Novas ocupações ou preexistentes inseridas nessa faixa de declividade necessitam de realizar estudos geológico-geotécnicos e devem atender a exigências específicas das autoridades competentes conforme definido na lei nº 6766/1979 (Brasil, 1979);
- f) > 45% - Restrição legal definida pelo código florestal como área de preservação permanente (Brasil, 2012). São áreas mais propensas a ocorrência de fenômenos geodinâmicos como movimentos de massa e queda de blocos (CPRM, 2018).

Declives elevados podem contribuir para deflagração de processos erosivos e movimentos gravitacionais de massa enquanto em locais próximos a cursos de água podem colaborar para ocorrência de enxurradas.

### 2.2.3 Carta de Orientação de Vertentes

A orientação das vertentes indica a direção do declive da encosta em relação as células vizinhas podendo ser utilizada para estimar as áreas que serão afetadas por fenômenos relacionados a movimentos de massa.

### 2.2.4 Carta de Curvaturas de Terreno

As curvaturas do terreno permitem a identificação de áreas passíveis de ocorrência de fenômenos geodinâmicos como:

Inundação e alagamentos - Caso estejam sobre influência de corpos de água, as curvaturas horizontalizadas ou planas estão sujeitas a acúmulo de água.

Fluxo de detritos - Vertentes convergentes são favoráveis a concentração de água desde que as bacias de contribuição tenham área igual ou superior a 1 ha e linha de talvegue com declividades mínima de 17% (CPRM, 2018).

Escorregamentos planares - As curvaturas de perfil convexas e retilíneas, associadas altas declividades (>45%), pequenas espessuras de solos e amplitude altimétrica de 5 metros favorecem a ocorrência desse tipo de movimento (CPRM, 2018).

### 2.2.5 Carta de Fluxo Acumulado

A área de fluxo acumulado é uma grade regular hidrológica que é obtida pela soma da área das células que convergem para uma dada célula, informação esta que permite a identificação de locais com maior possibilidade de acúmulo de água e de saturação por eventos chuvosos. Valores elevados de fluxo acumulado indicam áreas mais propícias

### 2.2.6 Carta de Altura Vertical da Drenagem mais Próxima

A altura vertical à drenagem mais próxima, também conhecido como modelo HAND, está indiretamente relacionada com a profundidade do nível freático, sendo que os maiores valores de distância vertical indicam regiões bem drenadas enquanto os baixos valores mostram áreas que estão próximas ao nível freático (NOBRE *et al.*, 2011).

A distância vertical à drenagem mais próxima está indiretamente relacionada com a profundidade do nível freático, sendo que os maiores valores de distância vertical indicam regiões bem drenadas enquanto os baixos valores estão próximas ao nível

freático devido a proximidade com as drenagens (Nobre *et al.*, 2011).

O modelo HAND é utilizado na previsão de áreas potenciais de inundação em conjunto com a análise morfométrica das bacias hidrográficas, para avaliar a suscetibilidade a inundação e alagamentos de uma área (Bitar *et al.*, 2014).

A metodologia consiste no fatiamento do HAND baseado nas condições geomorfológicas e pedológicas dos terrenos, nos quais são atribuídas as seguintes classes: Alta para a planície aluvial atual; Média do início do baixo terraço até o início do alto terraço; e Baixa a partir do início do alto terraço.

Em seguida, são avaliados parâmetros e índices morfométricos para as sub-bacias que podem influenciar na suscetibilidade a inundações. Os valores correspondentes são normalizados para fins de comparação de grandeza e elaboração de um índice geral que propicie avaliar a influência de cada sub-bacia na ocorrência de inundações. Por fim todos os mapas são cruzados para obter o índice final de suscetibilidade.

### 2.3 Carta Litológica e de Depósitos de Cobertura

Um mapeamento detalhado foi realizado com descrição de afloramentos rochosos e perfis de solo citadas na bibliografia, os quais foram agrupados respectivamente nas unidades geológicas Formação Ribeirão da Contagem, Formação Serra da Meia Noite, Formação Ribeirão do Torto (Freitas & Silva, 1998) e pedológicas Latossolos Vermelho-Amarelos, Latossolos Vermelhos, Cambissolos, Neossolos Litólico, Neossolos Flúvicos e Solos hidromórficos (Embrapa, 1978).

Formação Ribeirão da Contagem - Caracterizada por quartizitos finos a médios, brancos ou cinza claro (cinza escuro quando frescos), de granulação média a fina, aspecto maciço, constituídos essencialmente de quartzo e sericita, localmente granulometria grossa e conglomerática.

Formação Serra da Meia Noite - Caracterizada por alternâncias de estratos centimétricos a métricos de quartizitos finos a médios com níveis geralmente

mais delgados de metassiltitos argilosos, metalamitos siltosos e metalamitos micáceos. Em superfície os quartizitos se apresentam, em sua maioria, pouco alterados e coerentes enquanto os metalamitos e metassiltitos estão bastante alterados e pouco coerentes.

Formação Ribeirão do Torto - Caracterizada por ardósias homogêneas de cor cinza esverdeada, quando frescas e homogêneas, que adquirem cores avermelhadas características devido a alteração intempérica.

Latossolos vermelhos e vermelho-amarelos – Solos profundos, em média 25 metros de espessura, de textura argilosa a média podendo apresentar pedregulhos finos e recobrem a maior parte da área de estudo. São solos profundos, porosos e permeáveis e por isso favorecem a infiltração das águas pluviais e reabastecem os aquíferos da área. São solos que apresentam baixa erodibilidade, boa capacidade de suporte, alta drenabilidade, expansibilidade nula, baixa compressibilidade além de ter potencial para ser utilizado como jazida de solo.

Cambissolos – Solos rasos, podendo chegar até dois metros de espessura, de textura argilosa a média com pedregulhos finos podendo apresentar concreções. São solos pouco porosos com infiltração apenas no horizonte superficial e com dificuldade no horizonte subsuperficial. Em geral estes solos apresentam alta erodibilidade.

Neossolos Litólicos – Solos restritos a quebra de relevo, com espessuras inferiores a 20 centímetros, com textura argilosa a média com fragmentos rochosos diversos de pequenas dimensões. São solos com boa capacidade de suporte, baixa compressibilidade e infiltração restrita ao horizonte superficial além de serem bons indicadores para jazidas de brita.

Neossolos Flúvicos - Solos pouco espessos de textura argilo-arenosa, restritos aos cursos d'água naturais.

Solos Hidromórficos - Solos com espessuras inferiores a 1 metro, de textura argilosa com pedregulhos em superfície, restrito a proximidades do lago Paranoá.

## 2.4 Carta das Áreas de Preservação Permanente (APP) e de Mananciais e de Faixas de Domínio

As áreas de preservação permanente (Brasil, 2012) e de conservação (Ibran, 2014) foram excluídas para a ocupação e são representadas por: APP das nascentes com uma largura de 50 metros; APP dos cursos d'água naturais com uma largura de 30 metros; áreas com declividades acima de 100%; área de preservação de manancial do Taquari; Parque Vivencial dos Pinheiros, Parque Urbano do Paranoá, Parque Ecológico e Vivencial da Vila Varjão e o Parque Ecológico do Taquari.

As faixas de domínio das vias DF-005 e DF-001 também foram consideradas no estudo. As representações cartográficas foram inseridas na carta de suscetibilidade.

## 2.5 Modelo Conceitual ou Orientativo

Para a elaboração do modelo conceitual ou orientativo foram realizadas visitas de campo visando confirmar os dados compilados e elaborados durante a geração dos produtos cartográficos derivados. Também foi avaliado em campo a relação entre os diversos temas compilados observadas no SIG, ou seja, a confirmação se em determinadas condições geomorfológicas ocorrem determinados tipos de solo.

O objetivo do modelo conceitual é antecipar possíveis problemas geológicos/geotécnicos, os quais serão apresentados no texto explicativo da carta geotécnica, com base em uma melhor compreensão do meio físico e contribui para um planejamento mais eficiente de uma de campanha de investigações, com objetivo de reduzir os números de ensaios ou investigações geotécnicas sem a perda de qualidade no modelo final.

## 2.6 Elaboração da Carta de Suscetibilidade

Uma carta de suscetibilidade foi gerada para cada fenômeno geodinâmico (fluxo de detritos, deslizamentos planares, processos erosivos e inundações), posteriormente sendo agrupados em uma única carta com três classes de suscetibilidade (Alta, Média e Baixa) visando facilitar a tomada de deci-

são, como escolha dos métodos de investigações, permissão de ocupação ou retirada de ocupações existentes (Figura 2).

A carta de suscetibilidade a inundação foi elaborada utilizando altura vertical da drenagem mais próxima, a declividade e parâmetros morfométricos da bacia hidrográficas dos rios Jerivá e Ponte.

A carta de suscetibilidade a erosão foi elaborada a partir do tipo de solo e da declividade. A suscetibilidade a escorregamentos rasos planares foi obtida a partir do programa RiskLab mediante o emprego de um modelo preditivo para escorregamentos induzidos por chuvas, denominado SLIDE (LIAO et al., 2010 apud AZEVEDO, 2015), devidamente alterado pela aplicação do método probabilístico FOSM (*First Order Second Moment*). Os parâmetros necessários foram compilados por Silva Junior et al. (2016),

Para a avaliação do potencial de ocorrência de fluxo de detritos foi utilizada a proposta do CPRM (2018) em que as vertentes que possuam bacias de contribuição maiores ou igual a um hectare e declividade mínima de 17% na linha de talvegue são passíveis de ocorrência de fluxo de detritos. Para o cálculo das bacias de contribuição foi utilizada a ferramenta de delimitação de bacias hidrográficas do TerraHidro utilizando como exutório os pontos localizados nos locais em que ocorre a abertura das vertentes (no início das zonas de espraiamento) e cujas vertentes possuam curvatura horizontal ( $kh$ ) maior que zero. Na vertente em que os critérios supracitados são atendidos, considera-se uma vertente altamente suscetível, caso atenda somente aos dois primeiros critérios considera-se uma vertente com suscetibilidade média e nos demais casos atribui-se uma baixa suscetibilidade a vertente.

## 2.7 Determinação de Área de Interesse para a Elaboração da Carta de Aptidão à Urbanização

Para as áreas que apresentam suscetibilidade alta a algum processo foram atribuídas baixa aptidão a urbanização, restando somente a área em que será avaliada a aptidão a urbanização.v

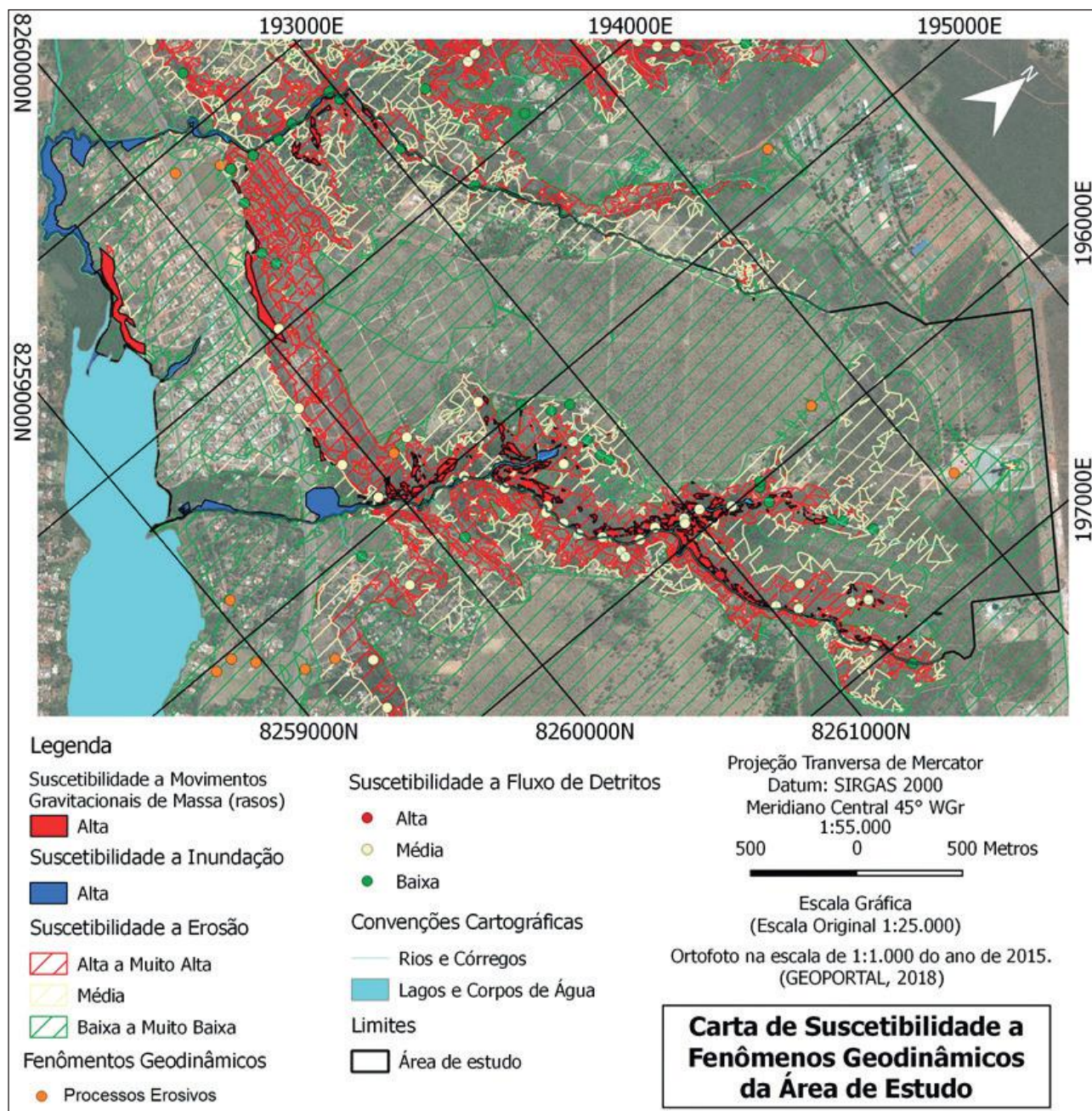


Figura 2 Carta de suscetibilidade a fenômenos geodinâmicos.

## 2.8 Compartimentação Fisiográfica

A compartimentação fisiográfica foi elaborada a partir das zonas homólogas delimitadas pela fotointerpretação das ortofotos utilizando a metodologia proposta por Soares & Fiori (1976) em que são identificadas feições lineares como quebras de

relevo positiva ou negativa, lineações em feixe ou em série, limites de zonas foto litológicas, elementos indicativos de estruturas geológicas, forma de relevo e padrões de drenagem. Com base nas feições identificadas, são delimitadas as zonas homólogas e possíveis associações entre as feições identificadas e estruturas relacionadas com o substrato rochoso.



A fotointerpretação consistiu inicialmente na identificação de feições (quebras de relevo, linhas de cristas, linhas de drenagem), seguida da análise das relações entre elas, e finalmente para a atribuição de significado às feições identificadas. As zonas homólogas foram cruzadas com o modelo conceitual para orientar os levantamentos de campo subsequentes.

## 2.9 Levantamentos de Campo

As investigações geotécnicas de campo objetivaram compreender melhor os aspectos do meio físico (infiltrabilidade, textura e profundidade) da área de estudo. Para tal foi realizado um mapeamento geológico geotécnico e ensaios de infiltração com o permeâmetro Guelph. O permeâmetro foi escolhido por ser um método de fácil execução além da leveza e da facilidade de transporte, podendo ser executado até por uma única pessoa, permitir a avaliação tátil visual do material extraído do furo para executar o ensaio de infiltração e pela área contribuir parcialmente para a recarga dos aquíferos porosos da região. A ocupação dessa região acarretará na impermeabilização do solo e o conhecimento da infiltração do solo subsidiará modelagens posteriores de forma a definir a melhor forma de ocupação.

A condutividade hidráulica foi determinada seguindo os procedimentos padrões de ensaio e os cálculos para o método de um estágio podem ser feitos utilizando a proposta de Elrick *et al.* (1989 apud Soto *et al.*, 2009)) ou de Reynolds & Elrick (1985 apud Soto *et al.*, 2009) para o método de dois estágios.

O mapeamento geológico geotécnico consistiu na localização e descrição dos fenômenos geodinâmicos externos (erosões e movimentos gravitacionais de massa), afloramentos rochosos e perfis de solo. Também foram registradas atividades antrópicas como escavações irregulares e depósitos de resíduos.

## 2.10 Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização

As unidades geotécnicas foram delimitadas considerando basicamente a geologia local (substrato), a geomorfologia (declividades, orientação

das vertentes, curvatura dos terrenos e concentração de fluxo) e a pedologia (solos superficiais). Posteriormente as unidades foram relacionadas a suscetibilidade de processos geodinâmicos por meio da sobreposição das temáticas e avaliadas quando a sua aptidão a urbanização (Figura 3).

A aptidão a urbanização foi avaliada em função das declividades, espessura dos solos, amplitude de relevo, profundidade do lençol freático (quando disponível) e potencial de recarga das unidades de terreno, as quais foram atribuídas as classes alta ou baixa aptidão a urbanização.

A alta aptidão a urbanização foi definida por declividades inferiores a 15%, solo profundo a muito profundo, moderado potencial de recarga, nível do lençol freático profundo e amplitude de relevo baixa a muito baixa. A média aptidão a urbanização foi definida por declividades inferiores a 15%, solo profundo a muito profundo, nível do lençol freático raso, alto potencial de recarga e amplitude de relevo baixa a muito baixa.

A baixa aptidão a urbanização foi definida por declividades superiores a 15%, solo muito raso a moderado, baixo potencial de recarga, nível do lençol freático raso, amplitude de relevo moderada ou maior ou altamente susceptíveis aos fenômenos geodinâmicos (fluxo de detritos, escorregamentos planares e inundações)

Para esta carta foram utilizadas três classes de aptidão a urbanização (Alta, Média e Baixa) visando facilitar a tomada de decisão, atribuídas a cada unidade geotécnica. As recomendações apresentadas foram baseadas em Sobreira & Souza (2012; 2014; 2015).

## 3 Descrição das Unidades de Terreno

A Tabela 1 apresenta as unidades de terreno definidas e suas respectivas classes de aptidão e algumas recomendações para orientar o processo de urbanização.

A unidade I está restrita às áreas próximas ao Ribeirão do Torto e próximo a foz das bacias do Jerivá e Ponte além de alguns dos trechos desses córre-

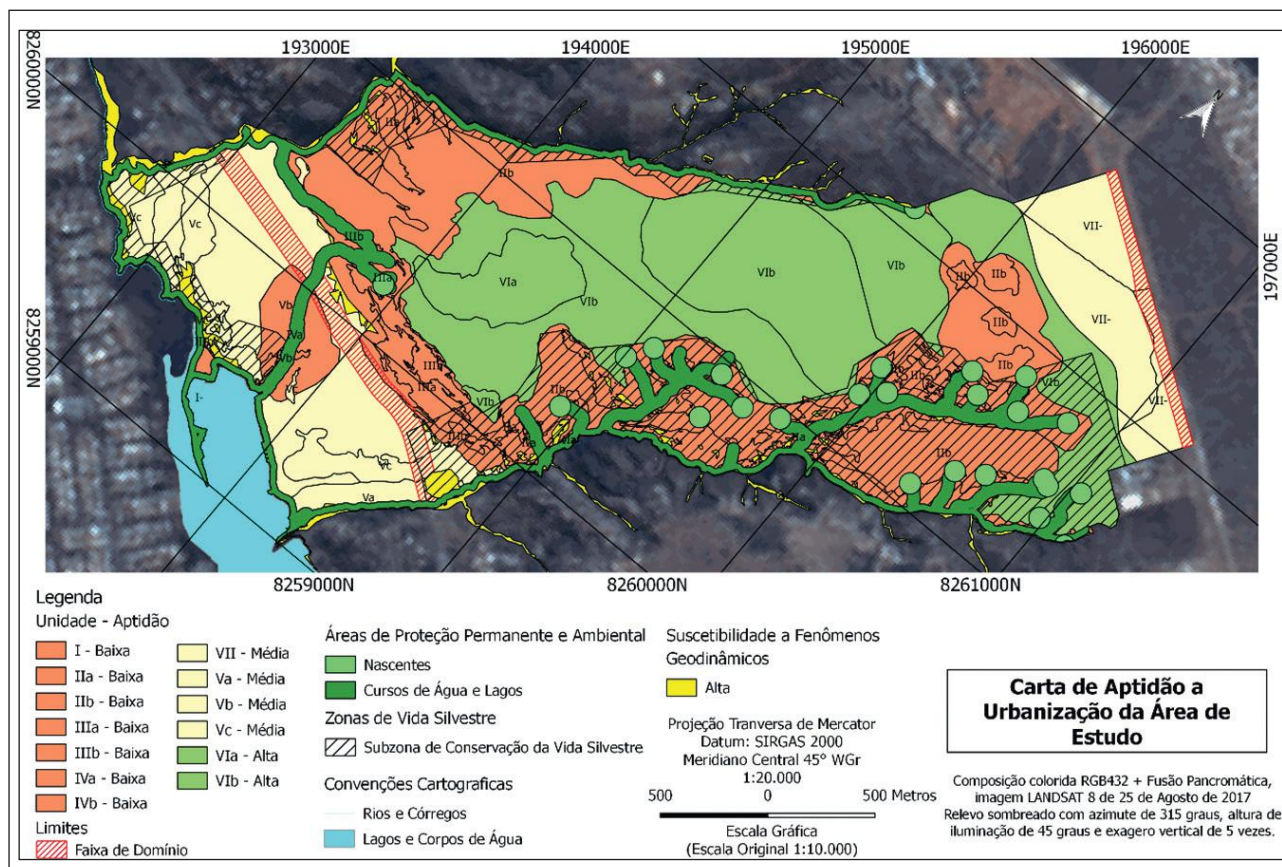


Figura 3 Carta de aptidão a urbanização da área de estudo.

Unidade de Terreno	Classe de Aptidão	Recomendações
I / IIa	Baixa	Não devem ser aprovados lotes para ocupação permanente nestas áreas.
IIb	Baixa	Necessário apresentar estudo geológico-geotécnico, projeto de fundações e estudo de estabilidade de talude quando necessário.
IIIa / IIIb / IVa / IVb	Baixa	Não devem ser aprovados lotes para ocupação permanente nestas áreas
Va / Vb / Vc	Média	Recomendado apresentar estudo geotécnico, projeto de fundações e estudo de estabilidade de talude quando necessário.
Via / VIb	Alta	É necessário realizar estudo geotécnico complementado com investigações geofísicas para fundações profundas.
VII	Média	Qualquer forma de ocupação na região deve fazer uso de técnicas compensatórias ou até mesmo de recarga artificial desde que os cuidados para que não ocorra contaminação sejam tomados.

Tabela 1 Classe de aptidão e recomendações para as unidades de terreno definidas. Fonte: Elaborada pelo autor.

gos. A unidade apresenta baixa amplitude de relevo e declividades inferiores a 3%. Observam-se solos de textura predominantemente arenosa, pouco espessos, e tem como substrato rochoso uma ardósia bastante alterada de coloração roxa em superfície entre

a unidade III e o Lago Paranoá e uma intercalação de quartzitos e metapelitos entre a unidade III e o topo da chapada. Apesar da unidade ser bem drenada, as áreas próximas ao Ribeirão do Torto são passíveis de alagamentos e inundações como mostra a Figura 2.

Nessa mesma área são observados meandros abandonados do córrego da Ponte. Não devem ser aprovados lotes para ocupação permanente nestas áreas.

As unidades II (IIa; IIb) apresentam solos de textura média com pedregulhos finos, pouco espessos, e substrato rochoso quartzítico intercalado com metapelitos. Os solos dessa unidade apresentam condutividade hidráulica em torno de  $1 \times 10^{-5}$  m/s, resultado obtido pelos ensaios de infiltração. Essa unidade está restrita aos vales e nas transições com o rebordo e exibe uma amplitude de relevo predominantemente alta com declividades superiores a 15%. Diversas drenagens perenes cortam a unidade, em sua maioria bem drenada, e as nascentes das bacias dos córregos da Ponte e do Jerivá encontram-se inseridos na mesma. Cerca de 63% da unidade apresenta restrições ambientais que proíbem a ocupação urbana.

Na unidade IIa não devem ser aprovados lotes para ocupação permanente nestas áreas. Nesta unidade existe a suscetibilidade à movimentos gravitacionais de massa (fluxo de detritos e escorregamentos planares) como mostra a Figura 2 naturais e alta suscetibilidade a processos erosivos.

Na unidade IIb, existe uma média suscetibilidade a processos erosivos e baixa suscetibilidade de movimentos gravitacionais de massa. Para se executar loteamentos nessas áreas é necessário apresentar estudo geológico-geotécnico e um projeto de fundações baseando em sondagem a percussão. Recomenda-se que o solo superficial e a cobertura vegetal só sejam retirados no início da obra e a pavimentação e sistema de drenagem de águas pluviais de novas vias ou de existentes devem ser executados rapidamente, preferencialmente no período de seca, para evitar escoamento superficial sob solo exposto e evitas a deflagração de processos erosivos. Na unidade IIb, é necessário apresentar estudo de estabilidade global, ou seja, de todos os taludes na área do loteamento, baseados em investigações geológico-geotécnicas visando identificar a ocasional necessidade de implantação de obras de estabilização.

As unidades III (IIIa; IIIb) estão inseridas na unidade geomorfológica de degraus estruturais, sendo caracterizadas por solos de textura argilosa a

média com pedregulhos podendo apresentar concreções. São solos pouco espessos, menos que 0,5 metros, sobrepostos ao substrato rochoso quartzítico intercalado com metapelitos bastante intemperizados. Os solos dessa unidade apresentam condutividade hidráulica entre  $6 \times 10^{-5}$  a  $6 \times 10^{-7}$  m/s, resultados obtidos por ensaios de infiltração com o permeâmetro Guelph. A unidade apresenta uma amplitude de relevo baixa, localmente, a alta com declividades predominantemente superiores a 15% e uma densidade de drenagem muito pobre e localmente bem drenada. É a segunda unidade mais afetada por processos erosivos, com cerca de 0,3% da sua área. Aproximadamente 27% da área da unidade apresenta algum tipo de restrição ambiental.

Nas unidades IIIa e IIIb existe uma alta suscetibilidade a processos erosivos e baixa suscetibilidade à movimentos gravitacionais de massa (fluxo de detritos e escorregamentos planares) como mostra a Figura 2. A baixa escavabilidade da unidade encarece a implantação de sistemas de drenagem de águas pluviais e de esgotamento sanitário, portanto, recomenda-se que não devem ser aprovados lotes para ocupação permanente nestas áreas.

As unidades IV (IVa; IVb) são caracterizadas por solos de textura argilosa, com espessuras de até um metro, e tem como substrato rochoso uma ardósia bastante alterada de coloração roxa em superfície. A unidade apresenta uma amplitude de relevo baixa a muito baixa com declividades inferiores a 8% e uma densidade de drenagem muito pobre e o localmente bem drenada. Aproximadamente 34% da área da unidade apresenta algum tipo de restrição ambiental que impede a ocupação urbana.

Nas unidades IV existe uma baixa suscetibilidade a processos erosivos e de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa. Apesar de apresentar uma escavabilidade melhor que as unidades anteriores, são solos mal drenados, comumente apresentam nível de água pouco profundo além de apresentarem baixa resistência. Não recomenda-se a implantação de loteamentos nessas áreas.

A unidade V (Va; Vb; Vc) apresenta solos de textura argilosa a média com pedregulhos podendo apresentar concreções, com espessuras de até dois

metros, e tem como substrato rochoso uma ardósia bastante alterada de coloração roxa em superfície. Os solos dessa unidade apresentam condutividade hidráulica entre  $5 \times 10^{-4}$  a  $9 \times 10^{-7}$  m/s, resultados obtidos por ensaios de infiltração. Apresenta amplitude de relevo moderada a muito baixa com declividades predominantemente inferiores a 15% e uma densidade de drenagem muito pobre e localmente bem drenada.

Nas unidades V existe uma baixa suscetibilidade a processos erosivos e baixa possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa. Na unidade Va é necessário que seja definido as cotas de inundação, baseado em estudo hidráulico, com para período de retorno mínimo de 10 anos. A unidade Vb não apresenta restrições de ordem geotécnica para a aprovação de lotes para ocupação permanente. Na unidade Vc ocasionalmente pode ser necessário apresentar estudo de estabilidade global dos taludes na área do loteamento.

Para loteamento dessa unidade é recomendado apresentar estudo geotécnico para simples reconhecimento dos terrenos (sondagem a percussão) associado com ensaios de adensamento para as camadas argilosas, observadas em vertentes durante o mapeamento e elaboração de recomendações para o projeto geotécnico das edificações (fundações). Apesar da baixa declividade recomenda-se que o solo superficial e a cobertura vegetal dos lotes só devem ser retirados no início da construção das edificações e que a pavimentação, o sistema de drenagem de águas pluviais e de esgotamento sanitário sejam implantados o mais rápido possível, preferencialmente no período de seca.

As unidades VI (VIa; VIb) exibe solos com espessuras de até 25 metros, de textura argilosa a média podendo apresentar pedregulhos finos sobrepostos a intercalação de quartzitos e metapelitos do substrato rochoso. Os solos dessa unidade apresentam condutividade hidráulica entre  $2 \times 10^{-6}$  a  $9 \times 10^{-7}$  m/s. Apresenta amplitude de relevo muito baixa com declividades predominantemente inferiores a 15% e uma densidade de drenagem muito pobre. A unidade está restrita a unidade geomorfológica do rebordo

em que cerca de 14% da área total da unidade apresenta algum tipo de restrição ambiental.

Nas unidades VI existe uma baixa suscetibilidade a processos erosivos e baixa suscetibilidade de movimentos gravitacionais de massa. Nesta unidade pode ocorrer acúmulo de água devido a baixa declividade sendo recomendado a avaliação quanto ao potencial de alagamentos e a necessidade de implantação de técnicas compensatórias.

A boa escavabilidade da unidade facilita a implantação de sistemas de drenagem de águas pluviais e de esgotamento sanitário. A pavimentação e os sistemas supracitados devem ser executados antes da implantação dos loteamentos. É necessário realizar estudo geotécnico para simples reconhecimento dos terrenos (sondagem a percussão) associado com métodos geofísicas para elaboração de projeto de fundações cuja profundidade seja superior a 5 metros.

A unidade VII está restrita ao topo da chapada, exibe uma amplitude de relevo muito baixa com declividades predominantemente inferiores a 8% e uma densidade de drenagem muito pobre. Caracterizada por solos com espessuras superiores a dois metros, de textura argilosa a média, localmente apresentando pedregulhos finos, e um substrato rochoso composto por um quartzito intercalado com metapelitos. Os solos dessa unidade apresentam condutividade hidráulica entre  $6 \times 10^{-5}$  a  $9 \times 10^{-6}$  m/s.

Na unidade VII existe uma baixa suscetibilidade a processos erosivos e baixa suscetibilidade de movimentos gravitacionais de massa (escorregamentos planares e fluxo de detritos). A boa escavabilidade da unidade facilita a implantação de sistemas de drenagem de águas pluviais e de esgotamento sanitário. Apesar da sua alta aptidão a urbanização, não recomenda-se a sua ocupação por ser uma área de recarga dos aquíferos porosos da região. Qualquer forma de ocupação na região deve fazer uso de técnicas compensatórias ou até mesmo de recarga artificial desde que os cuidados para que não ocorra contaminação sejam tomados.

#### 4 Conclusões

Dentre as metodologias disponíveis para a elaboração de cartas geotécnicas aplicadas ao planejamento urbano proposta por Sobreira & Souza

(2012), a metodologia de detalhamento progressivo é a mais recomendada visto que para uma melhor compreensão da área de interesse torna-se necessário uma avaliação das áreas em seu entorno. Por vezes feições da caráter local são explicadas a partir da compreensão do contexto regional em que a área está inserida.

A elaboração de modelo orientativo e a utilização de técnicas de fotointerpretação contribuíram bastante para o planejamento da campanha de investigações e dos mapeamentos geotécnicos.

A utilização do permeâmetro Guelph permitiu uma rápida aquisição de informações necessitando somente de uma pessoa para execução dos ensaios in situ. O permeâmetro Guelph auxiliou na avaliação da permeabilidade, infiltrabilidade e textura das camadas superficiais dos solos além de gerar subsídios para modelagens hidrodinâmicas posteriores na área.

As ferramentas de geoprocessamento foram essenciais para avaliação de suscetibilidade a fenômenos geodinâmicos, permitindo uma rápida identificação de áreas a partir de critérios estabelecidos.

## 5 Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade de Brasília pela infraestrutura e equipamentos disponibilizados e a Capes pelo suporte por meio de bolsa de pesquisa de um dos autores.

## 6 Referências

- Alves, R.R. 2007. *Monitoramento dos processos erosivos e da dinâmica hidrológica e de sedimento de uma voçoroca: estudo de caso na Fazenda do Gloria na zona rural de Uberlândia-MG*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Uberlândia, Uberlândia, 109 p.
- Azevedo, G.F. 2015. Sistema de Análise Quantitativa de Risco por Escorregamentos Rasos Deflagrados por Chuvas em Regiões Tropicais. Tese de Doutorado, Publicação G.TD - 107/15, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 254 p.
- Brasil. Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 11p.
- Brasil. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 11p.
- Bitar, O.Y. (Coord.). 2014. *Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações: 1:25.000. Nota técnica explicativa*. São Paulo, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Brasília, DF, 50p.
- Coutinho, R.Q. (Coord. e Org.) 2013. Parâmetros para a Cartografia Geotécnica e diretrizes para áreas sujeitas a Desastres Naturais, GEGEP/UFPE/MCIDADES, Recife.
- Cunha, M.A. (ed.). 1991. *Ocupação de Encostas*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, SP, 216 p.
- Serviço Geológico Brasileiro - CPRM. 2018. *Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa*, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Brasília, DF, 204 p.
- Dantas, M.E. 2010. Biblioteca de relevo do território brasileiro. Geodiversidade do Estado de Minas Gerais, M.F. Marchado & S.F. Silva, CPRM, Belo Horizonte, MG, Apêndice II, 136p.
- De Biasi, M. 1992. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. RDG - *Revista do Departamento de Geografia*, 6: 45-60.
- Diniz, N.C. & Freitas, C.G.L. 2013. Cartografia Geotécnica. Capítulo 7 In: Parâmetros para cartografia geotécnica e diretrizes para medidas de intervenção de áreas sujeitas a desastres naturais. In: COUTINHO, R.Q. (Coord. E Org.), Documento Técnico, Ministério das Cidades, Programas Urbanos, Cartografia Geotécnica/ UFPE – GEGEP/DECivil
- Embrapa - Serviço Nacional de Levantamento e Conservação De Solos (Rio de Janeiro, RJ). 1978. *Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal*. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim Técnico, 53), 455 p.
- Freitas-Silva, F.H. & Campos, J.E.G. 1998. Geologia do Distrito Federal. In: *Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal*. Brasília. IEMA/SEMATEC/UnB. Parte I. p. 86.
- Geoportal. Infraestrutura de Dados Espaciais - IDE/DF. Site <<https://www.geoportal.segeth.df.gov.br/>>. Acessado em 02 de maio de 2018.
- Honda, S.C.A.L., Vieira, M.C., Albano, M.P., Maria, Y.R. 2015. Planejamento ambiental e ocupação do solo urbano em Presidente Prudente (SP). *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 7(1):62-73.
- Momo, M.R.; Pinheiro, A.; Severo, D.L.; Cuartas, L.A. & Nobre, A.D. 2016. Desempenho do modelo HAND no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação usando dados de alta resolução espacial. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 21 (1): 200 - 208.
- Nobre, A.D.; Cuartas, L.A.; Hodnett, M.; Rennó, C.D.; Rodrigues, G.; Silveira, A.; Waterloo, M. & Saleska, S. 2011. Height above the Nearest Drainage, a hydrologically relevant new terrain model. *Journal Hydrology*, 404(1-2): 13–29.
- Philippi, A., Jr.; Romero, M.A. & Bruna, G.C. 2004. Uma Introdução à Questão Ambiental. In: PHILIPPI JR., A.; ROMÉRO, M.A. & BRUNA, G.C. (Orgs.). *Curso de Gestão Ambiental*, Barueri: Manole, p. 3-16.
- Reckziegel, E.W. 2012. *Identificação e mapeamento das áreas*

- com perigo de movimento de massa no município de porto alegre, RS.* Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós Graduação em Geografia, 90p.
- Santos, A.R. 2017. *Cidades e Geologia: Discussão Técnica e Proposição de Projetos de Lei de Grande Interesse para as Populações Urbanas.* Rudder, São Paulo, 136p.
- Silva Junior, E.E.; Azevedo, G.; Wilk, A.; Schimidt, L.; Pimentel, R. & Carjaval, H. 2016. Planejamento do Uso do Solo e Zoneamento da Ameaça de Escorregamentos Rasos Deflagrados por Chuvas pelo Uso de Métodos Probabilísticos Aplicado ao Setor Taquari (DF). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA: O FUTURO SUSTENTÁVEL DO BRASIL PASSA POR MINAS, 18, Belo Horizonte, 2016. Belo Horizonte, 8p.
- Soares, P.C. & Fiori, A.P. 1976. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Notícia Geomorfológica*, 16(32): 71-104.
- Sobreira, F.G. & Souza, L.A. 2012. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano, *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*, 2(1): 79-97.
- Sobreira, F.G. & Souza, L.A. 2014. *Guia para elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais - Estudo de Caso de Ouro Preto – 2013*, Brasília, Distrito Federal, 68 p.
- Sobreira, F.G. & Souza, L.A. 2015. Procedimentos para elaboração de cartas geotécnicas no planejamento urbano, *Revista Brasileira de Cartografia*, 67(1): 141-156.
- Soto, M.A.; Chang, K.H. & Vilar, O.M. 2009. Análise do método do permeâmetro guelph na determinação da condutividade hidráulica saturada. *Águas Subterrâneas*, 23 (01):137-152.