

## Carta geotécnica do perímetro urbano da Chapada dos Guimarães: subsídios ao plano diretor

### *Geotechnical mapping of the urban perimeter of Chapada dos Guimarães: subsidiaries to the city master plan*

Fernando Ximenes de Tavares Salomão<sup>1</sup>, Elder de Lucena Madruga<sup>2</sup>, Renato Blat Migliorini<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geologia Geral da Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT, Avenida Fernando Correa da Costa s/n, CEP 78060-900, Cuiabá, MT, BR (ximenes.salomao@gmail.com), (rena@ufmt.br)

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Mato Grosso - UFMT, Cuiabá, MT, BR (elmadruga@gmail.com)

Recebido em 16 de agosto de 2011; aceito em 17 de janeiro de 2012

#### Resumo

A previsão, caracterização e documentação cartográfica dos processos do meio físico e de áreas de risco geológico são de fundamental importância para o planejamento e para a regulamentação adequada da ocupação humana, respeitando-se as potencialidades e limitações dos terrenos. A carta geotécnica, que é um instrumento técnico capaz de cumprir este papel, torna-se necessária para subsidiar planos diretores municipais, conforme demonstrado com a elaboração da carta geotécnica do perímetro urbano de Chapada dos Guimarães, no Mato Grosso. Para tal, utilizou-se a abordagem morfopedológica, que permitiu a interpretação integrada dos componentes do meio físico e deduções do funcionamento hídrico de vertentes, subsidiando, com praticidade e rigor técnico, a delimitação cartográfica de áreas relativamente homogêneas no que se refere aos processos do meio físico, atributos geotécnicos, e quanto às potencialidades e restrições ao uso do solo. Foram definidas e caracterizadas seis unidades geotécnicas, sendo uma favorável à ocupação sem restrições e outras duas com restrições passíveis de se controlar por obras de Engenharia Civil. As demais áreas, por apresentarem riscos geológicos relacionados ao movimento de massa e a processos erosivos de difícil controle, foram consideradas não favoráveis à ocupação urbana, admitindo-se, entretanto, uso eventual e localizado, atrelada a condições específicas de projeto e execução.

**Palavras-chave:** Carta geotécnica; Risco geológico; Processos do meio físico; Chapada dos Guimarães.

#### Abstract

The cartographic prediction, characterization, and documentation of geological processes and hazard areas have fundamental importance for land-use regulation and planning, respecting the potentials and limits of the lands. Geotechnical mapping is an effective tool, which provides local authorities with such information, as demonstrated in the elaboration of the geotechnical mapping of the urban area of Chapada dos Guimarães, in Mato Grosso state, Brazil. The morphopedological approach was used, and it allowed the integrated interpretation of physical components and deductions of water shed operations. It also allowed the boundary identification of areas of relative homogeneity, as far as physical processes, geotechnical attributes, potentialities and restrictions of land use are concerned. Six geotechnical units were defined and characterized. One was favorable for using without restrictions; two others were restricted but subject to control by Civil Engineering works and the remaining three ones presented geological risks associated with mass movement and erosion. The latter was considered non favorable for human occupation, therefore of restricted use, and specific planning conditions.

**Keywords:** Geotechnical mapping; Geological hazard; Morphopedological approach; Chapada dos Guimarães.

## INTRODUÇÃO

Na natureza existe uma perfeita interação entre seus componentes, resultando em um conjunto de fenômenos que afetam o meio físico e a cobertura vegetal. Nas regiões de climas quente e úmido, como observado em grande parte do território brasileiro, as águas da chuva infiltradas e escoadas em superfície e subsuperfície e a posição e o funcionamento do aquífero freático constituem mecanismos fundamentais para a manifestação destes fenômenos naturais, reproduzindo processos conhecidos como “Processos do Meio Físico” ou “Processos de Dinâmica Superficial”. Tais processos manifestam-se na natureza de forma equilibrada, sustentando e recompondo o arcabouço superficial dos terrenos. Entretanto, com a ação humana, a partir do desmatamento, seguido da implantação das diferentes formas de ocupação, processos do meio físico, ajustados à natureza dos terrenos, passam a se manifestar de forma intensa causando impactos ambientais e podendo afetar vidas humanas, constituindo, assim, áreas de risco geológico.

A previsão, caracterização e documentação cartográfica dos processos do meio físico e de áreas de risco são papéis necessários para o planejamento e a regulamentação adequados da ocupação humana, respeitando-se as potencialidades e limitações dos terrenos. A carta geotécnica é o instrumento técnico capaz de cumprir esse papel (Carvalho e Prandini, 1998; Zuquette e Nakazawa, 1998). Neste trabalho, serão apresentados critérios utilizados e resultados obtidos pela elaboração da carta geotécnica do perímetro urbano da Chapada dos Guimarães, no estado do Mato Grosso, que permitiu a identificação e caracterização das áreas de risco geológico, apontando suas restrições à urbanização, e daquelas favoráveis à ocupação, servindo de base para a elaboração do Plano Diretor Municipal.

A carta geotécnica permite destacar áreas relativamente homogêneas envolvendo as restrições do meio físico e as potencialidades naturais à ocupação urbana. Essas áreas devem ser definidas com base em concepções que levam em consideração a previsão e o desempenho da interação entre a ocupação do solo e o meio físico, a partir do conhecimento dos processos relacionados aos fenômenos e problemas decorrentes das diversas formas de ocupação. Na definição das unidades geotécnicas, voltadas à determinação e ao controle preventivo das áreas de risco, deve-se, portanto, retratar o mais precisamente possível o comportamento esperado do meio físico frente à ação antrópica.

No caso específico da Chapada dos Guimarães, os processos erosivos e de movimentos de massa foram privilegiados, tendo em vista as observações realizadas preliminarmente em campo e o conhecimento acumulado por trabalhos realizados na região (Thomé Filho, 2006). Além desses processos do meio físico, foram considerados

também tendências à ocorrência de processos relacionados a alagamento, assoreamento de cursos d'água e contaminação de aquíferos superficiais e subterrâneos. O conhecimento dos desempenhos, causas e condicionantes desses processos do meio físico serviu de base para o estabelecimento do diagnóstico da área objeto e prognóstico das suscetibilidades, potencialidades e limitações à utilização urbana do solo.

As unidades geotécnicas permitem, assim, identificar o funcionamento e comportamento dos terrenos frente aos processos da dinâmica superficial e desempenho das obras e empreendimentos relacionados à ocupação urbana. Portanto, tais unidades representam um importante instrumento técnico voltado ao planejamento da ocupação urbana, subsidiando, entre outros, a concepção de projeto e a implantação de obras da Engenharia Civil, proteção dos recursos hídricos, identificação de áreas apropriadas ao lazer e preservação ambiental, indicação de zonas sujeitas a riscos naturais, instrução e apreciação de processos de licenciamento de edificações.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do trabalho foram utilizadas imagens de satélite DigitalGlobe e TerraMetrics, as quais foram disponibilizadas pelo Google *Earth* em 5 de setembro de 2009 e dados geológicos, geomorfológicos e pedológicos disponíveis (Mato Grosso, 2001).

Após prévia avaliação das imagens de satélite da área de abrangência e dos dados do meio físico disponíveis, foram realizados levantamentos de campo, com o objetivo de se definir os limites da área de estudo e identificar os principais compartimentos morfopedológicos ocorrentes, compreendendo áreas relativamente homogêneas em relação às formas de relevo, substrato geológico e tipos pedológicos (Castro e Salomão, 2000).

A seguir, elaborou-se um mapa morfopedológico preliminar em escala de detalhe (1:5000), com base na sobreposição das cartas temáticas de Geologia, Geomorfologia e Pedologia, obtidas de dados disponíveis, e na análise de imagens digitais à luz das informações recolhidas em campo. Áreas relativamente homogêneas representando compartimentos morfopedológicos foram cartograficamente delimitadas, e, em campo, caracterizadas.

Os elementos do meio físico foram para cada compartimento morfopedológico analisados de forma integrada, procurando-se interpretar o funcionamento hídrico ao longo das vertentes, envolvendo a infiltração e o escoamento das águas pluviais e a presença e o posicionamento do aquífero freático. Essa análise integrada e interpretação do funcionamento hídrico constituíram a chave para a compreensão do comportamento dos terrenos em relação ao

desenvolvimento dos processos do meio físico. Os processos erosivos foram interpretados quanto à suscetibilidade dos terrenos, com base em procedimentos apresentados por Salomão (1994, 2007).

Além da compreensão dos processos do meio físico, os compartimentos morfopedológicos foram analisados em relação ao comportamento dos terrenos frente a obras de Engenharia Civil, envolvendo a interpretação dos atributos geotécnicos relacionados à resistência dos materiais que compõem a cobertura pedológica e o substrato rochoso, tais como: compressibilidade, capacidade de carga e expansividade e possibilidades de utilização desses materiais. Essa interpretação realizou-se a partir do conhecimento das feições pedológicas e das características morfológicas e mineralógicas dos horizontes do perfil do solo (Salomão e Antunes, 1998), e do conhecimento da composição e estado de alteração e de fraturamento do substrato rochoso (Serra Junior e Ojima, 1998). Tais conhecimentos, direcionados ao funcionamento hídrico e comportamento geotécnico dos terrenos, foram obtidos com base na caracterização em campo, por meio da execução de tradagens e descrição de perfis de solos e materiais rochosos expostos em taludes de cortes e em cavas abertas.

As investigações da cobertura pedológica e do substrato rochoso foram, com maior rigor, realizadas por vertentes representativas dos diferentes compartimentos morfopedológicos, identificando-se e caracterizando-se os perfis de solo e respectivos horizontes pedológicos em relação às características morfológicas, de maneira a permitir a interpretação do funcionamento hídrico e dedução do comportamento geotécnico.

Após caracterização em campo, buscou-se, para cada compartimento morfopedológico, a definição de critérios, visando a compatibilização das unidades geotécnicas e sua precisa delimitação cartográfica, considerando-se a homogeneidade relativa dos terrenos envolvendo aspectos do meio físico, privilegiando-se as formas e feições do relevo, a cobertura pedológica, as características litológicas do substrato rochoso, a dinâmica do funcionamento hídrico e as características geotécnicas associadas a obras da Engenharia Civil.

Antecedendo a cada campanha de campo, foram previamente escolhidos os locais a serem identificados e interpretados. Alguns pontos de referência com coordenadas UTM foram definidos por meio da observação de imagem no Google *Earth*, e, em seguida, lançados no GPS, previamente configurado para o DATUM WGS84.

Pontos de controle, na transição de unidades geotécnicas, foram tomados com as coordenadas armazenadas do GPS. Esses pontos, após caracterização em campo, foram identificados no Google *Earth* e serviram de orientação no ajuste preciso dos contornos das unidades geotécnicas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A carta geotécnica do perímetro urbano da Chapada dos Guimarães foi elaborada em escala 1:5000, encontrando-se ilustrada na Figura 1, acompanhada de um quadro resumo das unidades geotécnicas. Foram destacadas seis unidades geotécnicas com denominações que permitem facilitar ao usuário sua identificação em campo: UG1 – chapadas; UG2 – superfícies rampeadas; UG3 – colinas arenosas; UG4 – vales profundos; UG5 – transição Chapada – frente de escarpa e UG6 – morros e morrotes.

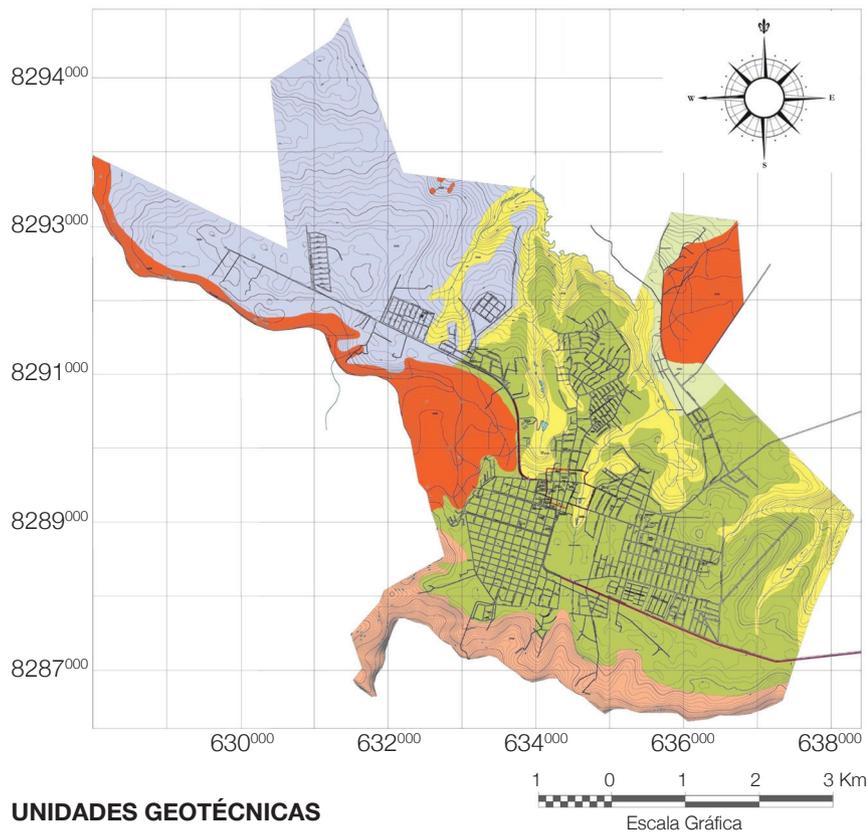
### UG1 – Chapadas

Corresponde a áreas de cimeira do Planalto dos Guimarães, onde se concentram atualmente a ocupação urbana, com terreno de topografia ligeiramente aplainada, em rampa, com declividade máxima de 6%, constituída por Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo, de textura argilosa, e por Plintossolo Pétrico, associados a rochas pertencentes à Formação Ponta Grossa e transição Furnas/Ponta Grossa, constituídas por arenitos e argilitos.

Tanto os Latossolos como os Plintossolos apresentam substratos pedogenéticos constituídos por camada de couraça ferruginosa assentada sobre o substrato rochoso. No caso dos Latossolos, a couraça ferruginosa encontra-se a profundidades superiores a 2 m, enquanto que, nos Plintossolos, praticamente aflora em superfície do terreno. Tais solos se originaram provavelmente por pedogênese da couraça ferruginosa, que, provavelmente, resultou de processos morfogenéticos e pedogenéticos sob influência de condições climáticas e geoambientais pretéritas.

Nas áreas correspondentes a tal Unidade Geotécnica, os Latossolos estão situados em porções superiores das vertentes em topografia praticamente plana, e os Plintossolos a jusante, normalmente em rampas, a partir de rupturas pouco nítidas, de difícil percepção – mesmo em campo –, que se dirigem a vales entalhados a partir de nítidas rupturas de declive e que se constituem em outra Unidade Geotécnica. A condição para ocorrência desses solos permite funcionamento hídrico específico em relação à dinâmica dos processos do meio físico. Os Latossolos, sendo naturalmente permeáveis (Salomão, 1994), favorecem a infiltração das águas de chuva, enquanto que os Plintossolos, por apresentarem em subsuperfície a pequena profundidade, camada de impedimento de drenagem, constituída por couraça ferruginosa, dificultam a infiltração das águas, favorecendo o escoamento superficial e, conseqüentemente, a ação erosiva.

A alta permeabilidade dos Latossolos deve-se à estrutura porosa observada nos horizontes superficiais e subsuperficiais, independentemente de sua textura, sendo, principalmente em função disso, solos de baixa erodibilidade (Salomão, 2007).

**UG1 - Chapadas**

Favorável à ocupação, sem restrições

**UG2 - Superfícies Rampadas**

Favorável à ocupação com restrições, exigindo recomendações específicas e impedimento da construção civil na faixa de transição para a Unidade geotécnica UG4

**UG3 - Colinas Arenosas**

Favorável à ocupação com restrições, exigindo recomendações específicas e impedimento de construção civil junto aos fundos de vale

**UG4 - Vales Profundos**

Não favorável à ocupação, que somente será admitida se atrelada a condições específicas de projeto e execução, regulamentadas por lei

**UG5 - Transição Chapada - Frente de Escarpa**

Não favorável à ocupação, que somente será admitida se atrelada a condições específicas de projeto e execução, regulamentadas por lei

**UG6 - Morros e Morrotes**

Não favorável à ocupação, destinada à prevenção, limitando-se ao uso eventual e localizado, desde que autorizado pela administração pública para interesse social

**Figura 1.** Carta geotécnica da Chapada dos Guimarães – MT (o resumo dos atributos geotécnicos pode ser visto na Tabela 1).

O aquífero freático da cobertura pedológica é observado apenas em setores da vertente, nos quais os Latossolos são dispostos, em geral nos topos aplainados da chapada, encontrando-se em profundidade superior a 2 m, abaixo do horizonte B latossólico, retido e armazenado pela camada de impedimento representada pela couraça ferruginosa. É nesse setor da vertente que se localizam as principais áreas de recarga do aquífero rochoso das formações Furnas e Ponta Grossa, localizadas no perímetro urbano e periurbano de Chapada dos Guimarães. As águas de chuva nessas

áreas de recarga penetram com relativa facilidade na cobertura latossólica, evidentemente quando desprovidas de instalações urbanas impermeabilizadoras do solo. O aquífero freático do solo, penetrando na couraça ferruginosa, migra em profundidade e em direção aos fundos de vales, adentrando em fraturas abertas do substrato rochoso, alimentando os aquíferos Furnas e Ponta Grossa. Dessa forma, tornam-se evidentes os riscos de contaminação desse aquífero por águas provenientes de esgoto doméstico e instalações urbanas e industriais.

*Principais atributos, potencialidades e limitações ao uso*

- Substrato rochoso: arenitos e argilitos das formações Furnas e Ponta Grossa, encobertos por camada de couraça ferruginosa.
- Formas e feições do relevo: chapadas que se caracterizam por topografia aplainada com caimentos em rampas suaves, declividade máxima de 6%, que se dirigem aos fundos de vales entalhados e profundos, representados pela UG4.
- Solos: Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilosa, em superfícies aplainadas de topos das Chapadas, e Plintossolo Pétrico em rampas suaves, a jusante dos Latossolos.
- Processos do meio físico: baixa suscetibilidade à erosão laminar e linear em porções do terreno com cobertura latossólica, podendo-se desenvolver sulcos e ravinas quando induzidos por escoamentos concentrados associados a arruamentos urbanos; alta suscetibilidade à erosão laminar e moderada à linear, em porções do terreno caracterizadas por rampas de suaves declives cobertos por Plintossolos, desenvolvendo-se sulcos e ravinas quando desprotegidos da cobertura vegetal; riscos de contaminação do aquífero freático do solo e do substrato rochoso em porções aplainadas do terreno em que ocorrem os Latossolos.
- Atributos geotécnicos: cobertura pedológica de baixa compressibilidade e boa capacidade de carga; materiais não expansivos, de fácil escavação, com taludes artificiais resistentes a desmoronamentos e de boa qualidade como aterros compactados. Porém, a presença de camada de couraça ferruginosa, que pode apresentar vários metros de espessura, impõe dificuldade de escavação não mecanizada, apresentando, entretanto, taludes resistentes a desmoronamentos. Abaixo da camada de couraça ferruginosa, observa-se a ocorrência de rochas alterada e são, geralmente constituídas por argilitos, siltitos e arenitos finos, sendo escavados apenas mecanicamente e por explosivos, e apresentando taludes estáveis, desde que não apresentem camadas contendo minerais expansivos (Tabela 1).
- Potencialidades e restrições ao uso do solo: favorável à ocupação urbana, não apresentando restrições quanto ao adensamento das ocupações; cuidados especiais devem ser observados, porém, na concepção dos sistemas viário e de drenagem, impedindo o escoamento concentrado das águas de chuva em direção ao fundo de vales. Nesse sentido, recomenda-se a não concepção de ruas direcionadas vertente abaixo no sentido dos fundos de vales, devendo, assim, ser interceptadas por outras ruas ou praças públicas e/ou áreas de lazer. Outro cuidado é o de assegurar

a drenagem de áreas de topo aplainado das vertentes, que podem ficar sujeitas a alagamentos quando impermeabilizadas por obras próprias da ocupação urbana, e também de assegurar nesses locais dispositivos de obras que impeçam a contaminação do aquífero freático por águas provenientes de esgoto e empreendimentos urbanos e industriais.

**UG2 – Superfícies rampeadas**

São áreas com formas de relevo em rampas, com baixas declividades, máximo de 6%, constituídas por solos essencialmente arenosos (Neossolos Quartzarênicos), porém pouco profundos, não ultrapassando 2 m, e substrato pedogenético representado por couraça ferruginosa em contato abrupto com rochas de litologias características da zona de contato entre as formações Ponta Grossa e Botucatu, constituídas por argilitos e arenitos quartzosos. As descrições das características morfológicas dos perfis de solo por tradagens, e em trincheiras, permitiram deduzir que a couraça ferruginosa encoberta por areia praticamente puras foi provavelmente originada por acumulação do óxido de ferro, cimentando sedimentos arenosos provenientes do arenito da Formação Botucatu. A alteração intempélica da couraça ferruginosa, seguida de pedogênese, teria permitido a remoção do óxido de ferro, dando condições para a formação de horizontes pedológicos essencialmente arenosos, originando perfis de Neossolos Quartzarênicos.

As condições morfopedológicas observadas na UG2 permitem fácil infiltração das águas de chuva pela cobertura pedológica muito porosa e permeável dos Neossolos Quartzarênicos, acumulando-se sobre a camada de impedimento de drenagem constituída por couraça ferruginosa, dando origem ao aquífero freático. Trata-se, portanto, de uma importante área de recarga, necessitando-se de cuidados especiais de maneira a impedir contaminações por águas provenientes de esgotos domésticos e empreendimentos urbanos e industriais.

A tendência à infiltração das águas de chuva não impede o escoamento induzido pela ocupação urbana, especialmente por arruamentos, podendo, dessa forma, estimular a ação erosiva. A textura essencialmente arenosa da cobertura pedológica, com ausência de coesão entre partículas torna-a muito erodível, promovendo a erosão laminar e linear por reduzidos escoamentos superficiais verificados após desmatamentos. Por outro lado, a baixa declividade observada em áreas desta Unidade Geotécnica minimiza em parte a ação erosiva, que pode ser facilmente controlada por obras de drenagem e planejamento adequado dos arruamentos.

Especial cuidado com a ocupação deve-se ter nas porções inferiores das vertentes, locais de transição para

**Tabela 1.** Resumo dos atributos geotécnicos ilustrados na Figura 1.

Unidades geotécnicas	Atributos geotécnicos
UG1 – Chapadas. Favorável à ocupação, sem restrições.	Solos de baixa compressibilidade e boa capacidade de carga, não expansivos, fácil escavação, resistentes a desmoronamentos e de boa qualidade como aterros compactados, recobrimdo couraça ferruginosa, que apresenta dificuldade de escavação não mecanizada; substrato rochoso constituído por argilitos, siltitos e arenitos finos, sendo escavados apenas mecanicamente e por explosivos e apresentando taludes estáveis, desde que não apresentem camadas contendo minerais expansivos.
UG2 – Superfícies Rampeadas. Favorável à ocupação com restrições, exigindo recomendações específicas e impedimentos da Construção Civil junto aos fundos de vales.	Solos de baixa compressibilidade e de boa capacidade de carga, não expansivos, de fácil escavação, mostrando-se instáveis, sujeitos à erosão e ao desmoronamento, impróprios à utilização em aterros compactados, recobrimdo couraça ferruginosa.
UG3 – Colinas Arenosas. Favorável à ocupação com restrições, exigindo recomendações específicas e impedimento à Construção Civil junto aos fundos de vale.	Atributos geotécnicos similares aos apresentados para a UG2. Entretanto, o solo de constituição arenosa é bem mais espesso, condicionando dificuldades mais acentuadas à implantação das obras de Engenharia Civil, especialmente em relação à instabilidade dos taludes de cortes, sujeitos à erosão e ao desmoronamento, e possibilidades da ocorrência de erosões lineares profundas na forma de ravinas e boçorocas, quando o aquífero freático é interceptado.
UG4 - Vales Profundos Não favorável à ocupação, que somente será admitida se atrelada a condições específicas de projeto e execução, regulamentadas por lei.	Solos das encostas dos vales apresentam baixa compressibilidade e boa capacidade de carga, enquanto que, nos fundos de vales, a compressibilidade é alta e com baixa capacidade de carga, podendo manifestar recalques e instabilizações por fenômenos de expansividade. O substrato rochoso e/ou camada de couraça ferruginosa encontram-se a uma pequena profundidade, constituído por materiais resistentes, escaváveis apenas por equipamentos mecânicos ou por explosivos, compondo taludes de cortes de boa estabilidade, exceção feita em locais com exposição de rochas fraturadas e de locais constituídos por argilitos e siltitos com argilas expansivas, sujeitos à desagregação superficial e a processos de erosão e movimentos de massa.
UG5 – Transição Chapada – Frente de Escarpa Não favorável à ocupação, que somente será admitida se atrelada a condições específicas de projeto e execução, regulamentadas por lei.	Solos de encostas com baixa compressibilidade e boa capacidade de carga; fundo de vales com solos muito compressíveis e com baixa capacidade de carga, podendo manifestar recalques e fenômenos de expansividade; substrato rochoso e/ou couraça ferruginosa à pequena profundidade, resistentes à escavação, compondo taludes de cortes de boa estabilidade, exceto quando constituídos por argilitos e siltitos com argilominerais expansivos. Encostas muito declivosas, sujeitas a movimentos de massa por queda de blocos e escorregamentos, tratando-se de processos naturais, que podem ser intensificados pelo simples desmatamento.
UG6 – Morros e Morrotes Não favorável à ocupação, destinada à preservação, limitando-se ao uso eventual e localizado, desde que autorizado pela administração pública para interesse social.	Solos pouco profundos com baixa compressibilidade e boa capacidade de carga e suporte; encostas com surgências d'água dificultam a escavação e favorecem fenômenos de erosão e movimentos de massa por queda de blocos e escorregamentos planares. Riscos a processos de boçorocamento em locais de surgências d'água e nos sedimentos e solos dos fundos de vales.

fundo de vales, em que o aquífero freático manifesta-se em pequenas profundidades ou mesmo em surgências na superfície do terreno, constituindo, assim, locais de nascentes. São locais muito favoráveis ao desenvolvimento de erosão interna do solo por fenômenos de *piping*, originando vazios que podem causar colapsos do terreno e dos demais fenômenos próprios de boçorocas.

*Principais atributos, potencialidades e limitações ao uso*

- Substrato rochoso: argilitos e siltitos, da Formação Ponta Grossa, e arenitos quartzosos da Formação Botucatu, encobertos por camada de couraça ferruginosa.
- Formas e feições do relevo: rampas com declividade máxima de 6%, que se dirigem para fundos de vales.

- Solos: Neossolo Quartzarênico pouco profundo, assentado em camada de couraça ferruginosa.
- Aquífero superficial e subterrâneo: aquífero freático em cobertura arenosa, armazenado em camada de impedimento, constituída por couraça ferruginosa em profundidade não superior 2 m.
- Processos do meio físico: moderada suscetibilidade à erosão laminar e linear por sulcos e ravinas; extremamente suscetíveis a boçorocas em locais específicos na zona de transição para os fundos de vales, representados pela UG4; riscos à contaminação do aquífero freático do solo e do substrato rochoso.
- Atributos geotécnicos: materiais de baixa compressibilidade e boa capacidade de carga; não expansivos; de fácil escavação, porém, nos taludes de cortes, a cobertura arenosa mostra-se instável, sujeita à erosão e ao desmoronamento, e imprópria à utilização em aterros compactados; a camada de couraça ferruginosa observada em subsuperfície apresenta os mesmos atributos e comportamentos geotécnicos descritos na UG1 (Tabela 1).
- Potencialidades e restrições ao uso do solo: são áreas favoráveis à ocupação urbana com restrições, exigindo recomendações específicas, especialmente em relação às características dos sistemas viário, de drenagem das águas de chuva e formas de esgotamento sanitário, e, em especial, impedindo-se a construção de edificações nas porções dos terrenos situados na faixa de transição para a UG4. Nesta, ocorre tendência para a manifestação do aquífero freático a pequena profundidade, devendo, nesses setores, serem mantidas áreas verdes ou serem objeto de obras especiais de drenagem, visando o controle da ação erosiva por boçorocamento.

### UG3 – Colinas arenosas

A UG3 corresponde às áreas de relevo de colinas com topos amplos, que são dominadas por solos essencialmente arenosos (Neossolos Quartzarênicos), associados a arenitos da Formação Botucatu. Essas colinas apresentam topos ligeiramente aplainados e vertentes longas, de baixa declividade, em geral inferiores a 10%, que se dirigem aos fundos de vales. A cobertura pedológica, de constituição arenosa, é muito profunda, porosa e permeável, podendo apresentar, nas porções superiores das vertentes, profundidades superiores a 10 m, facilitando a infiltração das águas de chuva e a formação de aquífero freático armazenado a grandes profundidades nas proximidades da rocha. Nas porções inferiores das vertentes, junto aos fundos de vales e em cabeceiras de drenagens, a água subterrânea pode ser observada em subsuperfície ou mesmo em surgências na forma de nascentes. Trata-se, portanto, de áreas de recarga do Aquífero Guarani, que devem merecer cuidados especiais visando o controle de contaminações por águas

provenientes de esgoto sanitário e por empreendimentos urbanos e industriais.

A problemática relacionada à ação erosiva é a mesma apresentada para a cobertura arenosa da UG2, podendo, entretanto, desenvolver erosões mais profundas e de maior porte, tendo em vista a espessura mais pronunciada da cobertura pedológica.

#### *Principais atributos, potencialidades e limitações ao uso*

- Substrato rochoso: arenitos da Formação Botucatu.
- Formas e feições do relevo: colinas com vertentes de topos ligeiramente aplainados e declividades inferiores a 10%.
- Solos: Neossolos Quartzarênicos.
- Aquíferos superficiais e subterrâneos: aquífero freático do solo presente à grande profundidade, manifestando-se em subsuperfície apenas na porção inferior das vertentes, junto aos fundos de vales.
- Processos do meio físico: moderada suscetibilidade à erosão laminar e linear, desenvolvendo sulcos e ravinas condicionados ao desmatamento e à ocupação urbana, especialmente por arruamentos e estradas, podendo, em função da energia de escoamento das águas atingirem grandes profundidades e, desde que interceptado o aquífero freático, transformar-se em boçorocas. A alta porosidade favorecida pela cobertura arenosa permite a infiltração das águas de chuva com relativa facilidade, atingindo o aquífero freático situado nas proximidades do substrato rochoso constituído por arenitos da Formação Botucatu; as águas retidas são absorvidas pela rocha, e elas podem se constituir em recarga do aquífero rochoso (Aquífero Guarani). Nas proximidades dos fundos de vales, a presença do aquífero freático à pequena profundidade torna esse setor mais sensível ao desenvolvimento de boçorocas, tendo em vista as possibilidades de manifestação dos fenômenos de *piping*, caso seja o nível freático interceptado pelo aprofundamento das ravinas.
- Atributos geotécnicos: similares aos apresentados para a UG2, entretanto, a cobertura arenosa é bem mais espessa, condicionando dificuldades mais acentuadas à implantação das obras de Engenharia Civil, especialmente, em relação à instabilidade dos taludes de cortes, sujeitos à erosão e ao desmoronamento, e possibilidades da ocorrência de erosões lineares profundas na forma de ravinas e boçorocas, quando interceptado o aquífero freático (Tabela 1).
- Potencialidades e restrições ao uso do solo: áreas favoráveis à ocupação urbana com restrições, valendo as mesmas restrições e recomendações apresentadas para a UG2. Especial cuidado com a ocupação urbana é exigido nas porções inferiores das vertentes, junto aos fundos de vales, que devem ser protegidos por

áreas verdes e não ocupados por edificações e arruamentos. Nesses setores do terreno, o aquífero freático, encontrando-se à pequena profundidade, torna-os muito sensíveis à instalação de boçorocas, quando o nível freático for atingido por ravinas, sendo também sujeito à contaminação por águas servidas e esgoto. Por outro lado, o fundo dos vales, por onde escoam as águas de chuva e de cursos d'água intermitentes e perenes, inseridos na UG3, é muito favorável à ocorrência de assoreamentos por sedimentos provenientes de processos erosivos. Isso se deve à sua conformação topográfica ampla e aplainada, podendo ser margeada por ocorrências de veredas e por campos úmidos. Esses ambientes de veredas e campos úmidos devem ser preservados, constituindo-se em Áreas de Preservação Permanente protegidas por lei, contendo surgências d'água difusas na forma de nascentes.

#### UG4 – Vales profundos

Boa parte dos cursos d'água observados na área objeto apresenta encostas de vales muito declivosos, encontrando-se entalhados em rochas das formações Furnas e Ponta Grossa, fazendo parte da unidade UG4, cartograficamente delimitada a partir de rupturas positivas nítidas das vertentes que se dirigem aos fundos de vales. Parte dessas encostas de vales constitui-se de escarpas, apresentando declividades superiores a 45°, dirigindo-se de forma abrupta ao fundo de vale, normalmente amplo e de fundo chato. Compreendem áreas constituídas por encostas muito declivosas e fundo de vales por onde escoam águas servidas provenientes da Chapada dos Guimarães e por águas de chuvas e de surgências do aquífero freático na forma de nascentes perenes e intermitentes.

As encostas, e boa parte do fundo de vales, apresentam solos rasos a pouco profundos, dominados Neossolos Litólicos e Plintossolos Pétricos, bem como por afloramentos rochosos representados por arenitos e argilitos das formações Furnas e Ponta Grossa.

Grande parte das áreas que compõem a UG4 se encontra com densa cobertura vegetal, que, aliada à ocorrência comum de cursos d'água com corredeiras e pequenas cascatas, servem de atrativos à visitação e ocupações por chácaras ou mesmo por loteamentos incompatíveis à natureza e às fragilidades dos terrenos.

Os processos erosivos e de movimentos de massa em encostas declivosas e as possibilidades de contaminação das águas superficiais e subterrâneas constituem os principais problemas ambientais observados na UG4. As águas de chuvas escoadas provenientes das vertentes que se dirigem aos fundos de vales, ao atingirem as encostas dessa Unidade Geotécnica, aumentam consideravelmente a energia de escoamento, tendo em vista sua alta declividade e

baixa permeabilidade da cobertura pedológica rasa a pouco profunda, podendo atingir os fundos de vales com alto poder erosivo. Desde que desmatadas e desprotegidas da ação erosiva, processos de ravinamentos podem ser observados. Tais processos podem desestabilizar as encostas dos vales, favorecendo queda de blocos rochosos e escorregamentos da camada superficial da cobertura pedológica, assoreando o fundo dos vales. Dessa forma, os cursos d'água, em geral intermitentes, podem ser destruídos e a contaminação das águas por poluentes provenientes da ocupação urbana pode ser intensificada. Arruamentos, ou mesmo trilhas e/ou caminhos que se dirigem encosta abaixo em direção aos fundos dos vales, intensificam a ação erosiva, mesmo que essas encostas se encontrem cobertas por vegetação.

A fragilidade à erosão manifestada por esta Unidade Geotécnica é evidenciada pela ocorrência de ravinas profundas ao longo dos talwegues existentes nos fundos de vales. A causa principal dessas ocorrências erosivas é a imprecisão de obras de drenagem na área urbanizada que contorna os vales, permitindo o aporte exagerado das águas de chuvas, com elevada energia de escoamento, provenientes dos arruamentos e mesmo das águas servidas, em muitos casos contaminados por esgoto. Durante o evento chuvoso, o escoamento concentrado das águas ao longo dos talwegues promove o ravinamento, que se aprofunda, removendo as camadas de solos hidromórficos e de sedimentos aluviais originalmente existentes, expondo o substrato rochoso, normalmente coberto por camada de couraça ferruginosa. Em muitos casos, verifica-se o aprofundamento erosivo mesmo em materiais resistentes que compõem o substrato rochoso e a couraça ferruginosa. A descaracterização do funcionamento hídrico ao longo desses talwegues submetidos à erosão é evidente, destruindo ou colocando sob risco locais em que se manifestam nascentes, corredeiras e cachoeiras.

#### *Principais atributos, potencialidades e limitações ao uso*

- Substrato rochoso: arenitos e argilitos pertencentes à Formação Furnas e Formação Ponta Grossa, normalmente cobertos por couraça ferruginosa.
- Formas e feições do relevo: vales profundos constituídos por encostas declivosas, e, em certos casos, escarpados, e fundo de vales amplos e chatos.
- Solos: Neossolos Litólicos e Plintossolos Pétricos, e, ao longo dos talwegues, e em suas margens, solos hidromórficos, dominados por organossolos e gleissolos.
- Aquífero superficial e subterrâneo: existência de águas de escoamento superficial ao longo dos talwegues, constituídas por águas servidas provenientes das áreas urbanizadas, águas de chuvas e provenientes de nascentes intermitentes e perenes. Aquífero freático armazenado em solos hidromórficos e em fraturas e no corpo rochoso associado às formações Furnas e Ponta Grossa.

- Processos do meio físico: alta suscetibilidade à erosão laminar e linear por sulcos e ravinas, podendo manifestar boçorocamento em locais específicos onde ocorrem solos hidromórficos e locais de surgências d'água. Riscos a escorregamentos e quedas de blocos rochosos de locais de encostas dos vales com altas declividades, instabilizados por ação erosiva. Riscos de contaminação das águas superficiais e subterrâneas por poluentes provenientes das áreas urbanizadas e pequenas criações de animais.
- Atributos geotécnicos: a cobertura pedológica das encostas dos vales apresenta baixa compressibilidade e boa capacidade de carga, enquanto que, nos fundos de vales onde ocorrem solos hidromórficos, a compressibilidade é alta e com baixa capacidade de carga, podendo manifestar recalques e instabilizações dos solos por fenômenos de expansividade. O substrato rochoso e/ou camada de couraça ferruginosa encontram-se à pequena profundidade ou recobrimdo a superfície do terreno, tanto ao longo das encostas como nos fundos de vales, constituem-se de materiais resistentes, escaváveis apenas por equipamentos mecânicos ou por explosivos, compondo taludes de cortes de boa estabilidade; exceção feita em locais com exposição de rochas com fraturas verticalizadas e/ou inclinadas em sentidos desfavoráveis à estabilidade e de locais onde a rocha alterada constituída por argilitos e siltitos apresenta argilas expansivas, sujeitas a fenômenos de desagregação superficial ou empastilhamento. Tais fenômenos podem condicionar o desenvolvimento dos processos de erosão e movimentos de massa dos taludes. Encostas muito declivosas e, em especial, quando se constituem de escarpas, são sujeitas a movimentos de massa por queda de blocos e escorregamentos planares, tratando-se, nessas condições, de processos naturais, que podem ser intensificados pelo simples desmatamento das encostas (Tabela 1).
- Potencialidades e restrições ao uso do solo: compreendem áreas de risco geológico, não favoráveis à ocupação urbana, que somente será admitida se atrelada a condições específicas de projeto e execução, regulamentadas por lei. Recomenda-se a manutenção com a cobertura vegetal de uma faixa do terreno contornando a UG4, servindo de proteção das encostas dos vales, minimizando os efeitos da energia de escoamento das águas servidas e de chuva provenientes das porções superiores das vertentes que se dirigem aos fundos de vales. As encostas dos vales não devem ser desmatadas por constituírem importantes meios de proteção contra eventos erosivos e manutenção da estabilidade frente a movimentos de massa. Eventuais obras de arruamentos e de travessias dos vales devem ser executadas com o rigor técnico exigido, privilegiando-se obras de drenagem das águas de chuva, de maneira a disciplinar o escoamento com energia controlada, impedindo a ação erosiva nas encostas e nos fundos de vales.

### UG5 – Transição Chapada – frente de escarpa

Corresponde a uma faixa de terreno com larguras variando de 150 a 1.000 m, que, partindo da UG1 (Chapada), dirige-se com pequeno caimento altimétrico para o local onde ocorre a frente de escarpa do Planalto dos Guimarães. Apresenta diferentes formas e feições do relevo, desde superfícies praticamente planas, e, em rampas suaves, representadas por extensões e restos residuais de Chapadas, até feições topográficas muito declivosas constituídas por encostas de morros e de vales profundos, que se apresentam em escarpas. Grande parte dessas áreas apresenta densa cobertura vegetal, que vem permitindo a manutenção da estabilidade ambiental em setores de alta fragilidade, apresentando, também, ocupações isoladas envolvendo pequenas criações de animais, edificações residenciais, chácaras e pousadas, atraídas pelas belezas cênicas naturais observadas em tal Unidade Geotécnica.

Nas áreas aplainadas e em rampas pouco declivosas, inferiores a 12%, observa-se o domínio de cobertura pedológica constituída por Latossolo Vermelho Amarelo, de textura argilosa, e Plintossolos Pétricos, enquanto que, nos de vertentes declivosas, com declividades superiores a 12%, observa-se a ocorrência de solos rasos e pouco profundos, dominados por Neossolos Litólicos e Cambissolos.

As áreas aplainadas e em rampas suaves situam-se em cotas topográficas mais elevadas, em faixas de terrenos relativamente estreitas, em que as águas de chuvas infiltram com relativa facilidade em cobertura latossólica ou permanecem retidas em superfície quando em presença de Plintossolo Pétrico. Surgências d'água na forma de nascentes perenes e intermitentes encontram-se situadas preferencialmente nos fundos de vales e nas bordas das escarpas.

Nas encostas de vales profundos e de vertentes de morros não desmatados, as águas de chuvas são em parte retidas pela densa cobertura vegetal natural e pela camada enriquecida em matéria orgânica observada na superfície do terreno, escoando-se com energia controlada em direção aos fundos de vale.

Processos erosivos lineares na forma de sulcos e ravinas pouco profundos foram observados apenas ao longo de trilhas e caminhos que se dirigem aos locais de ocorrência de belezas naturais, especialmente junto à frente de escarpas.

Foi possível também observar presença de corpos de tálus em determinadas porções das vertentes que se dirigem ao fundo de vales, constituindo áreas frágeis à erosão e a movimentos de massa, especialmente quando ocorrem surgências d'água do aquífero freático, constatado na base desses depósitos. Entretanto, são escarpas as feições do terreno mais sensíveis ao desenvolvimento de movimentos de massa por queda de blocos e escorregamentos planares, constituindo áreas de alto risco.

*Principais atributos, potencialidades e limitações ao uso*

- Substrato rochoso: arenitos e argilitos pertencentes às formações Furnas e Ponta Grossa, normalmente cobertos por camada de couraça ferruginosa.
- Formas e feições do relevo: chapadas residuais, morros alongados, encostas de vales profundos e escarpas.
- Solos: Plintossolo Pétrico e Latossolo Vermelho Amarelo, associados a porções do terreno constituídas por chapadas e rampas suaves; Neossolo Litólico, Plintossolo Pétrico, e Cambissolo, associados a encostas declivosas e escarpas; solos hidromórficos constituídos por Organossolos e Gleissolos, associados a fundo de vales.
- Aquífero superficial e subterrâneo: em talvegues, observa-se a presença de águas superficiais provenientes de chuvas e de nascentes; aquífero freático, armazenado em depósitos de tálus e em fraturas de rochas associadas às formações Furnas e Ponta Grossa, pode se manifestar na superfície do terreno na forma de nascentes.
- Processos do meio físico: alta suscetibilidade à erosão laminar e linear por sulcos e ravinas ao longo das encostas declivosas de morros e dos vales profundos, podendo manifestar processos de boçorocamentos em locais específicos onde ocorrem solos hidromórficos e locais de surgências d'água. Baixa suscetibilidade à erosão laminar e linear e não suscetível ao escorregamento, em áreas de chapadas residuais com declividades inferiores a 12%. Riscos a escorregamentos e quedas de blocos de locais das encostas de vales profundos, encostas de morros e em escarpas. Riscos de contaminação das águas superficiais e subterrâneas por poluentes provenientes de áreas urbanizadas.
- Atributos geotécnicos: materiais de cobertura das encostas de morros, vales e chapadas residuais, apresentando baixa compressibilidade e boa capacidade de carga; nos fundos de vales onde ocorrem solos hidromórficos a compressibilidade é alta e com baixa capacidade de carga, podendo manifestar recalques e instabilizações por fenômenos de expansividade. O substrato rochoso e/ou couraça ferruginosa encontram-se à pequena profundidade ou recobrimdo a superfície do terreno tanto ao longo das encostas de vales profundos e de morros e morrotes, como nos fundos dos vales; constituem-se de materiais resistentes à escavação, escaváveis apenas por equipamentos mecânicos ou explosivos, compondo taludes de cortes de boa estabilidade, com exceção de locais com exposição de rochas com fraturas verticalizadas e/ou inclinadas em sentidos desfavoráveis à estabilidade. A rocha alterada constituída por argilitos e siltitos da Formação Ponta Grossa pode apresentar argilominerais expansivos, sendo, nesse caso, sujeita a fenômenos de desagregação superficial ou empastilhamento, os quais podem condicionar o desenvolvimento de processos de erosão e escorregamento dos taludes. Encostas muito declivosas e,

em especial, quando se constituem de escarpas, são sujeitas a movimentos de massa por quedas de blocos e escorregamentos planares, tratando-se, nessas condições, de processos naturais, os quais podem ser intensificados pelo simples desmatamento das encostas (Tabela 1).

- Potencialidades e restrições ao uso do solo: compreende áreas de risco geológico não favorável à ocupação urbana, que somente será admitida se atrelada a condições específicas de projeto e execução, regulamentadas por lei. Situações localizadas possíveis de serem ocupadas devem ser especialmente voltadas ao lazer e turismo, restritas a um local de baixa declividade, inferior a 12%, recomendando-se cuidados especiais com a drenagem das águas de chuvas que se dirigem para as encostas, de maneira a proteger os terrenos contra processos erosivos. As encostas com declividades superiores a 12% não devem ser desmatadas de maneira a garantir estabilidade por processos erosivos e movimentos de massa.

**UG6 – Morros e morrotes**

Corresponde a áreas de relevo muito movimentado, comportando morros e morrotes alinhados, com vales profundos e inúmeras cabeceiras de drenagens e morros e morrotes isolados, resultantes de erosão geológica diferencial. Nas encostas observa-se presença de cobertura pedológica rasa a pouco profunda, dominada por Neossolos Litólicos e Cambissolos, enquanto que, nos fundos de vales e cabeceiras de drenagens, a presença de Organossolos e Gleissolos.

O aquífero freático encontra-se, em solos rasos e pouco profundos, limitado ao substrato rochoso, provavelmente armazenado em fraturas. Em solos hidromórficos dos fundos de vales, o aquífero freático encontra-se próximo à superfície do terreno, aflorando em boa parte do ano. Nas encostas de vales e demais porções das vertentes muito declivosas, as águas de chuvas praticamente não se infiltram, retidas em parte pelas camadas superficiais concentradas em matéria orgânica, escoando-se com energia controlada pela densa cobertura vegetal existente.

*Principais atributos, potencialidades e limitações ao uso*

- Substrato rochoso: arenitos e argilitos pertencentes às Formações Furnas e Ponta Grossa, normalmente cobertos por camada de couraça ferruginosa.
- Formas e feições do relevo: morros e morrotes, encostas de vales profundos e escarpados.
- Solos: Neossolos Litólicos e Cambissolos associados às encostas declivosas dos morros e dos vales. Organossolos e Gleissolos associados aos fundos de vales.
- Aquífero superficial e subterrâneo: ao longo dos talvegues, observa-se presença de águas superficiais provenientes de chuvas e nascentes; aquífero freático

armazenado em fraturas e em depósitos de tálus, associado às formações Furnas e Ponta Grossa.

- Processos do meio físico: alta suscetibilidade à erosão laminar e linear por sulcos e ravinas ao longo das encostas declivosas de morros e dos vales profundos, podendo manifestar processos de boçorocamentos em locais específicos onde ocorrem solos hidromórficos e locais de surgências d'água. Riscos a escorregamentos e quedas de blocos de locais das encostas de vales profundos, encostas de morros e em escarpas. Riscos de contaminação das águas superficiais e subterrâneas por poluentes provenientes de áreas urbanizadas.
- Atributos geotécnicos: a compressibilidade estimada para os diferentes materiais de cobertura é relativamente baixa e com boa capacidade de carga e suporte. A pequena profundidade da rocha e do nível d'água dificulta a escavação e favorece fenômenos de erosão e movimentos de massa por queda de blocos e escorregamentos planares. Não existe nessas áreas materiais apropriados para aterros. As encostas dos morros e morrotes e dos vales apresentam alta suscetibilidade à erosão laminar e linear, por sulcos e ravinas, não sendo suscetíveis a boçorocas. Riscos a processos de boçorocamento limitam-se aos locais de surgências d'água e nos sedimentos e solos hidromórficos dos fundos de vales (Tabela 1).
- Potencialidades e restrições ao uso do solo: compreende áreas de risco geológico não favoráveis à ocupação urbana, destinada à preservação, admitindo-se, entretanto, o uso eventual e localizado somente quando autorizado pela Administração Pública por interesse social.

## CONCLUSÕES

Foi possível, em tempo relativamente curto, envolvendo aproximadamente três meses de trabalho, interpretar as relações existentes entre os componentes do meio físico (rocha, relevo e solo) com o funcionamento hídrico das águas infiltradas e escoadas, e com o aquífero freático. Essa interpretação foi possível com a aplicação da abordagem morfopedológica, que permitiu a delimitação cartográfica de áreas relativamente homogêneas envolvendo aspectos do meio físico (rocha, relevo e solo) e sua interpretação frente ao funcionamento hídrico, processos do meio físico e atributos geotécnicos, compatibilizando-os a unidades geotécnicas.

Foram delimitados, em escala de detalhe (1:5.000), seis unidades geotécnicas, as quais, interpretadas, permitiriam traduzir áreas de risco com seus principais atributos e comportamentos geológico-geotécnicos.

Apenas a UG1 mostra-se favorável à ocupação urbana sem restrições, correspondendo a 38% da área do perímetro urbano, enquanto que, as UG2 e UG3, correspondendo a 27% do perímetro urbano, apesar de favorável à ocupação

urbana, apresentam restrições passíveis de controle, ligadas à possibilidade de desenvolvimento de erosão linear (ravinas e boçorocas) e contaminação do aquífero freático.

Riscos geológicos relacionados aos movimentos de massa e processos erosivos por boçorocamento foram diagnosticados nas unidades UG4, UG5 e UG6, sendo especialmente em função disso não favorável à ocupação urbana, destinados à preservação, admitindo-se, entretanto, o uso eventual e localizado somente quando autorizado pela Administração Pública, atrelada a condições específicas de projeto e execução.

## REFERÊNCIAS

CARVALHO, E. T. de; PRANDINI, F. L. Áreas urbanas. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. de. *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998 (7ª reimpressão 2011). p. 487-497.

CASTRO, S. S.; SALOMÃO, F. X. T. Compartimentação morfopedológica e suas aplicações: considerações metodológicas. *GEOUSP Espaço e Tempo*, n.7, p. 27-37, 2000.

MATO GROSSO. Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral. *Projeto Diagnóstico Sócio Econômico do Estado de Mato Grosso*. Cuiabá – MT, 2001.

SALOMÃO, F. X. T. *Processos erosivos lineares em Bauru-SP. Regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo de erosão urbano rural*. 1994. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. N. *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*. Rio de Janeiro: Editora Bertrand do Brasil, 3ª ed., 2007. p. 229-267.

SERRA JUNIOR, E.; OJIMA, L. M. Caracterização e classificação de maciços rochosos. In: OLIVEIRA, A. M. do S.; BRITO, S. N. A. de. *Geologia de Engenharia*, 1998 (7ª reimpressão 2011). p. 211-226.

THOMÉ FILHO, J. J. (Org.). *Sistema de Informação Geoambiental de Cuiabá, Várzea Grande e Entorno SIG Cuiabá*. Goiânia: CPRM, 2006. (Convênio CPRM/SICME).

ZUQUETTE, L. V.; NAKAZAWA, V. A. Cartas de Geologia de Engenharia. In: OLIVEIRA, A. M. do S.; BRITO, S. N. A. de. *Geologia de Engenharia*, 1998 (7ª reimpressão 2011). p. 283-300.