

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**GERAÇÃO DE CARTA DE APTIDÃO GEOTÉCNICA PARA
FINS DE OCUPAÇÃO URBANA DO SETOR
HABITACIONAL BERNARDO SAYÃO**

PEDRO GABRIEL DE OLIVEIRA ARAÚJO

ORIENTADOR: GEORGE FERNANDES AZEVEDO

CO-ORIENTADOR: MANOEL PORFÍRIO CORDÃO NETO

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA
CIVIL**

BRASÍLIA / DF: JULHO / 2018

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**GERAÇÃO DE CARTA DE APTIDÃO GEOTÉCNICA PARA
FINS DE OCUPAÇÃO URBANA DO SETOR
HABITACIONAL BERNARDO SAYÃO**

PEDRO GABRIEL DE OLIVEIRA ARAÚJO

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

APROVADA POR:

**GEORGE FERNANDES AZEVEDO, DSc (UnB)
(ORIENTADOR)**

**CLÁUDIA MÁRCIA COUTINHO GURJÃO, DSc (UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**ELEUDO ESTEVES DE ARAUJO SILVA JUNIOR, DSc (UnB)
(EXAMINADOR EXTERNO)**

BRASÍLIA/DF, 04 de Julho de 2018.

FICHA CATALOGRÁFICA

ARAÚJO, PEDRO GABRIEL DE OLIVEIRA
GERAÇÃO DE CARTA DE APTIDÃO GEOTÉCNICA PARA FINS DE OCUPAÇÃO URBANA DO SETOR HABITACIONAL BERNARDO SAYÃO [Distrito Federal] 2018.

xi, 67 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2018)

Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Aptidão geotécnica

2. Inundação

3. Estabilidade de taludes

4. Susceptibilidade ao deslizamento

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ARAÚJO, P. G. O. (2018). Geração de Carta de Aptidão Geotécnica para Fins de Ocupação Urbana do Setor Habitacional Bernardo Sayão., Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 78p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Pedro Gabriel de Oliveira Araújo

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Geração de Carta de Aptidão Geotécnica para Fins de Ocupação Urbana do Setor Habitacional Bernardo Sayão.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Civil / 2018

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Pedro Gabriel de Oliveira Araújo

SGAN 911, Módulo F, Condomínio Edifício Green Park, Bl. I, Apartamento 17, Asa Norte 70790-901 - Brasília/DF – Brasil

RESUMO

Obtenção de Carta de Aptidão Geotécnica para Fins de Ocupação Urbana do Setor Habitacional Bernardo Sayão

A aptidão geotécnica se mostra como importante parâmetro quando se trata de delimitação de área em que há possibilidade de ocupação sem perigo de acidente geológico urbano e, nesse sentido, se torna necessária a classificação de ameaça geotécnica ligada à susceptibilidade, à inundação e à ocorrência de deslizamentos. Neste trabalho busca-se a definição da declividade e da área passível à ocorrência de inundação utilizando-se do modelo numérico de terreno e da superfície freática; para a determinação das áreas com tendência à ocorrência de acúmulo de água, para tanto é realizada categorização da grade numérica da diferença entre a topografia e a configuração do nível freático obtido através de leituras periódicas em piezômetros instalados na área de estudo. Considerou-se na interpretação dos resultados a premissa de que quanto mais próximo da superfície se encontra o freático, mais o solo se encontra em condições de saturação. Como forma de determinação da probabilidade de desenvolvimento de eventos de movimentos de massa foram analisados parâmetros de resistência do solo da região, obtido mediante ensaios laboratoriais e a hidrografia. Uma vez que foram estabelecidos os planos de informação para a declividade, probabilidade de ruptura e susceptibilidade à inundação obtém-se a Carta de Aptidão Geotécnica. Por fim, é possível realizar análise que serve como suporte para a tomada de decisão quando da definição da área passível à ocupação.

Palavras-chave: aptidão geotécnica, inundação, estabilidade de taludes, susceptibilidade ao deslizamento, carta.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	MOTIVAÇÃO.....	2
1.2.	OBJETIVOS.....	3
1.2.1.	OBJETIVO GERAL.....	3
1.2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.2.3.	ESCOPO.....	3
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1.	FATORES AMBIENTAIS QUE INFLUENCIAM A OCUPAÇÃO URBANA	5
2.1.1.	OCUPAÇÃO EM ENCOSTAS E MOVIMENTOS DE MASSA.....	5
2.1.2.	ÁREAS PASSÍVEIS DE INUNDAÇÃO.....	10
2.2.	ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE.....	11
2.3.	CRITÉRIOS DA REGULARIZAÇÃO FUNDIÁRIA URBANA PARA ÁREAS DE PROTEÇÃO PERMANENTE PARA ÁREAS NÃO IDENTIFICADAS COMO ÁREAS DE RISCO	13
2.4.	GEOPROCESSAMENTO E ANÁLISE AMBIENTAL	15
2.4.1.	CARACTERÍSTICAS DO SIG	16
2.4.2.	ESTRUTURA DE UM SIG	16
2.4.3.	TIPOS DE DADOS.....	17
2.5.	MODELOS PARA ANÁLISE DE APTIDÃO À OCUPAÇÃO	20
2.5.1.	PROCESSO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (AHP)	20
2.5.2.	LÓGICA FUZZY	22
2.5.3.	ANÁLISE DE SUSCEPTIBILIDADE DE MOVIMENTOS DE MASSA.....	22
3.	METODOLOGIA	25
3.1.	OBTENÇÃO DOS DADOS.....	27

3.2.	ORGANIZAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS	28
3.2.1.	ANÁLISE DE ENSAIOS DE LABORATÓRIO E DE CAMPO.....	28
3.2.2.	ANÁLISE HIDROLÓGICA	28
3.2.3.	ANÁLISE DE ÁREAS DE INUNDAÇÃO	31
3.2.4.	ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDES	32
3.2.5.	DEFINIÇÃO DAS ÁREAS DE PROTEÇÃO PERMANENTE	33
3.2.6.	ANÁLISE DA APTIDÃO GEOTÉCNICA DO TERRENO.....	34
4.	RESULTADOS E ANÁLISES DE RESULTADOS.....	36
4.1.	NÍVEL FREÁTICO.....	36
4.2.	ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À INUNDAÇÃO.....	42
4.3.	ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE	44
4.3.1.	DECLIVIDADE	44
4.3.2.	GEOLOGIA	45
4.3.3.	GEOMORFOLOGIA	45
4.3.4.	CORPOS HÍDRICOS.....	45
4.4.	ANÁLISE DE SUSCEPTIBILIDADE A OCORRÊNCIA DE DESLIZAMENTOS .	48
4.5.	ANÁLISE DE APTIDÃO GEOTÉCNICA À OCUPAÇÃO URBANA.....	53
5.	CARTA DE APTIDÃO GEOTÉCNICA PARA FINS DE OCUPAÇÃO URBANA DO SETOR HABITACIONAL BERNARDO SAYÃO.	57
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	0
	BIBLIOGRAFIA	2

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Fontes de deslizamentos a partir da atividade antrópica (Adaptado de Suarez Diaz, 1995).....	8
Tabela 2.2. Agentes e causas de deslizamentos (Guidicini e Nieble, 1976).....	9
Figura 2.2. Distinção dos tipos de escoamento e acúmulo superficial de água. (http://dscbcsp.blogspot.com.br e modificado de Carvalho et al, 2007.)	11
Figura 2.3. Representação da organização de dados em planos de informação (Dias, 2004).	17
Figura 2.4. Exemplo de mapa temático de uso e cobertura do solo do município de Castelo, Espírito Santo (Castro et al, 2007).....	18
Figura 2.5. Exemplo de modelo numérico do terreno composto por isolinhas de topografia da sub-bacia do córrego Pontinha, Distrito Federal.	19
Figura 2.6. Exemplo de imagem para a sub-bacia do córrego Pontinha, Distrito Federal. ...	20
Figura 3.1. Localização do Setor Habitacional Bernardo Sayão – SHBS	25
Figura 3.2. Delimitação da área de estudo.	26
Figura 3.4. Modelo de superfície resultante de grade triangular (Lopes, 2010).....	29
Figura 3.5. Modelo de superfície gerada por uma grade retangular (Lopes, 2010).....	30
Figura 3.6. Cálculo da susceptibilidade em termos de probabilidade de ruptura (modificado de Azevedo, 2015).	33
Figura 4.1. Localização dos piezômetros.....	36
Figura 4.5. Carta de susceptibilidade a inundação com base na diferença entre topografia e nível freático.	43
Figura 4.6. Carta de declividade em porcentagem.....	44
Figura 4.7. Carta com as Áreas de Preservação Permanente	47
Figura 4.8. Carta de susceptibilidade à ocorrência de movimentos de massa.	50

Figura 4.9. Constatação de campo de PR elevado. Vegetação da margem tombando para o córrego.	51
Figura 4.10. Constatação de campo de PR elevado. Erosões na margem do córrego	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Características dos principais grandes grupos de processos de escorregamento (Augusto-Filho, 1992).....	6
Tabela 4.1. Médias das séries piezométricas com a exclusão dos dados anômalos.	37
Tabela 4.2. Espessura das camadas de solo usadas na análise de ocorrência de deslizamentos (modificado de Azevedo et al., 2013).	48
Tabela 4.3. Valores empregados na análise de estabilidade pelo método FOSM.	49
Tabela 4.4. Medidas de classe para susceptibilidade de movimentos de massa.....	49
Tabela 4.5. Pesos utilizados por faixa para a declividade (Nascimento et al., 2009).	53
Tabela 4.7. Pesos utilizados por faixa para as probabilidades de ruptura.....	54
Tabela 4.8. Pesos utilizados por faixa para as probabilidades de ruptura.....	54
Tabela 4.9. Matriz de comparação pareada entre fatores.....	55
Tabela 4.10. Intervalos para o fatiamento (Nascimento et al., 2009).	56

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

APP: Áreas de Proteção Permanente

AHP: Analytic Hierarchy Process

ARINE: Área de Interesse Específico

CV: Coeficiente de variação

E[FS]: Valor médio ou esperado do fator de segurança

FS: Fator de Segurança

FOSM: First Order Second Moment

H: profundidade média do solo na superfície de ruptura potencial

ISI: Índice de Susceptibilidade à Inundação

Matlab: Matrix Laboratory

MNT: Modelo Numérico do Terreno

PI: Plano de Informação

PDOT: Plano Diretor de Ordenamento Territorial

PR: Probabilidade de Ruptura

REURB: Regularização Fundiária Urbana

SHBS: Setor Habitacional Bernardo Sayão

SIG: Sistema de Informação Geográfica

TERRACAP: Companhia Imobiliária de Brasília

TIN: Triangulated Irregular Network

TOPOCART: Topografia, Engenharia e Aerolevantamentos S/S

V[FS]: Variância do fator de segurança

V[xi]: Variância de cada variável xi

ZEE: Zoneamento Ecológico Econômico

α : inclinação média do talude

c' : coesão efetiva

ϕ' : ângulo de atrito efetivo do solo

γ : Peso específico do solo

σ_i : desvio padrão da variável estatística

1. INTRODUÇÃO

A ocupação urbana de forma irregular é geradora dos principais problemas enfrentados nas cidades (Bredariol, 2001). Dentre os problemas gerados por essa situação encontram-se a ocupação de áreas com ameaça de desmoronamento ou alagamento, impermeabilização do solo, dificuldades para o abastecimento de água e de instalação de saneamento urbano e sistema viário desarticulado.

Quando a ocupação ocorre em Áreas de Proteção Permanente (APP), esses problemas são somados às questões ambientais, cujo impacto concentra-se no comprometimento dos mananciais de abastecimento de água e do lençol freático, com a supressão de nascentes e assoreamento de cursos d'água, solapamento da margem fluvial, retirada de áreas de cobertura vegetal e prejuízos para fauna local.

Segundo o que discorre Sabbag (2012), em comparação com a urbanização do Brasil, de maneira geral, a ocupação urbana para o empreendimento de Brasília se deu de forma diferenciada, visto que houve o prévio planejamento da cidade de forma a garantir a infraestrutura necessária para a população prevista. Tal fato não excluiu a ocupação irregular nas cidades que cercam Brasília.

De acordo com Quinto Jr & Iwakami (1991), a ocupação das regiões administrativas aconteceu de forma a dar suporte para a forma como a construção de Brasília aconteceu. Com o curto período de tempo disponível para a transferência da capital do Brasil para a região Centro-Oeste, foi necessário o deslocamento de trabalhadores de forma abundante. Desta forma, para abrigá-los, foram surgindo assentamentos em torno do Plano Piloto, os quais cresciam na medida em que novos trabalhadores chegavam e que suas famílias fossem aumentando. Assim, a criação das Regiões Administrativas está ligada ao assentamento irregular ocorrido em meados de 1960 com a construção de Brasília.

Neste estudo, são avaliados, de maneira geral, como os fatores ambientais são determinantes no processo de ocupação urbana e quais os principais aspectos que podem tornar inelegível uma área em que se há o objetivo de demarcação para processo de urbanização.

A área escolhida refere-se à Região do Setor Habitacional Bernardo Sayão (SHBS). O SHBS se encontra dentro da bacia hidrográfica do Lago Paranoá, oficialmente faz parte das Regiões Administrativas do Núcleo Bandeirante e Guará. A área escolhida para o avaliação se

encontra próxima ao Córrego Vicente Pires, onde se localiza a Área de Interesse Específico (ARINE) do Bernardo Sayão.

Segundo o Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal, PDOT, (2009), ARINE são áreas de regularização predominantemente ocupadas por população de renda média e alta. O processo de ocupação irregular nessas áreas ocorreu de maneira indiscriminada e a crescente pressão urbana torna a avaliação das condições de aptidão à ocupação necessária para que a regularização. O ordenamento destas regiões por parte da Administração pública deve ser realizada mantendo-se o grau necessário de segurança da população e o respeito às leis ambientais de delimitação de APP.

1.1. MOTIVAÇÃO

A aptidão geotécnica se mostra como importante fator quando se trata da delimitação de áreas passíveis de serem ocupadas em ambiente urbano sem que haja ameaça de acidente geológico. Diferentemente do recomendado, o crescimento urbano ao longo das últimas décadas tem se dado em ritmo acelerado e sem o acompanhamento de estudos necessários que definam a área passível de ocupação de determinada região.

Dessa forma, a ocorrência de catástrofes com perdas econômicas, como a exemplo daquelas relacionadas aos deslizamentos de terra e estabilidade de taludes, tem se tornado, progressivamente, mais frequente. Nesse sentido, torna-se necessária a definição e avaliação de aspectos ambientais que possuem papel de destaque na restrição no nível de ocupação de determinada região.

Por esses motivos, estudos de avaliação da topografia, pedologia, geologia, hidrologia e geomorfologia da região a ser ocupada são fundamentais na aplicação de recursos capazes de determinar a susceptibilidade à ocorrência de deslizamentos para, por fim, delimitar a área apta à ocupação urbana e garantir a segurança da população local.

1.2.OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo principal desse estudo é a verificação da viabilidade de instalação de novas áreas de ocupação para o Setor Habitacional Bernardo Sayão, com base em aspectos legais e de susceptibilidade geotécnica.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para a obtenção do objetivo geral, são formulados os seguintes objetivos específicos:

- Determinar áreas susceptíveis à ocorrência de movimento de massa, por meio da aplicação de modelos de estabilidade de taludes em termos probabilísticos;
- Definir áreas que apresentam grande possibilidade de inundação;
- Delimitar as Áreas de Proteção Permanente com base nas leis ambientais vigentes, verificando se está ocorrendo o adequado cumprimento legal da conservação destas áreas;
- Geração das cartas relacionadas às análises a serem estabelecidas, tais como Carta de Declividade, Carta de Área de Proteção Permanente, Carta de Probabilidade de Ruptura, Carta de Nível Freático;

1.2.3. ESCOPO

O presente trabalho encontra-se dividido em seis capítulos, acrescentando-se ainda o referencial bibliográfico. O primeiro capítulo contextualiza o tema abordado e apresenta a motivação e os objetivos almejados da pesquisa.

O capítulo 2 contém a revisão bibliográfica, na qual são apontados, com base na literatura especializada, os fatores ambientais que influenciam a ocupação urbana. Além disso, será exposto na revisão bibliográfica o sistema de informações geográficas como forma de ferramenta para estudo ambiental e os modelos utilizados análise de aptidão à ocupação. A última parte do capítulo corresponde aos modelos utilizados para a geração da carta de aptidão à ocupação, em que serão realizadas a análise das áreas de inundação, análise de estabilidade pelo método *First Order Second Moment* (FOSM) e, por fim, a aptidão geotécnica.

No terceiro capítulo é apresentada a estrutura metodológica utilizada para obtenção dos resultados propostos. A metodologia passa pela descrição da obtenção dos dados e sua organização para, finalmente, efetuar manipulação para geração das cartas geotécnicas.

No capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos, bem como as respectivas análises e no quinto capítulo, é apresentada a carta obtida para apresentação da aptidão geotécnica para fins de ocupação urbana do Setor Habitacional Bernardo Sayão. Por fim, o sexto capítulo traz as conclusões geradas neste trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.FATORES AMBIENTAIS QUE INFLUENCIAM A OCUPAÇÃO URBANA

Essa seção tem por objetivo descrever os principais elementos ambientais que podem influenciar de maneira positiva ou negativa no direcionamento da ocupação urbana.

2.1.1. OCUPAÇÃO EM ENCOSTAS E MOVIMENTOS DE MASSA

O Ministério das Cidades (Brasil, 2004) define área de risco como sendo a “área passível de ser atingida por processos naturais e/ou induzidos que causem efeito adverso”. No contexto brasileiro, de forma geral, a desigualdade social e o crescimento das regiões metropolitanas de forma acelerada e sem o controle do Estado acentuaram o processo de ocupações irregulares muitas vezes situadas ao longo das drenagens e em encostas íngremes (Maricato, 1996). Neste cenário, é possível relacionar a formação de áreas de risco com o processo de formação da cidade. Dessa forma, observa-se o fenômeno da urbanização brasileira de forma patológica e exposta a riscos que poderiam ser evitados caso o estudo das condições do solo fosse realizado anterior à sua ocupação.

De acordo com Motamedi & Liang (2014), nos últimos anos, a avaliação da ameaça de deslizamentos cresceu em importância graças à sua capacidade de delimitação do uso do solo com o objetivo de minimizar a perda de vidas e danos às propriedades. Apesar de serem de grande importância, estudos da capacidade de resistência para definir o parcelamento do solo se tornam um desafio quando a ocupação ocorre de forma indiscriminada e entre os possíveis eventos naturais aos quais a população fica exposta nesse cenário encontra-se a ocorrência de movimentos de massa.

Conforme Cruden (1991), movimento de massa é o movimento de um material composto de rocha, solo ou detritos ao longo de uma encosta. Esses movimentos são, normalmente, gerados por um conjunto de fatores que dependem da história geológica do maciço, das condições climáticas, do estado de fluxo subterrâneo e da ação antrópica (Ocampo-Araya, 2016).

Segundo Penha (1998), existem variados sistemas de classificação de movimentos de massa, os quais contemplam combinações de critérios como cinética do movimento, tipo de material, geometria e modalidade de deformação do movimento.

Em sua maioria, as classificações têm aplicabilidade regional e são baseadas nas condições climáticas e geológicas locais (Gerscovich, 2012). No entanto, pode-se citar, como exceção à regra, a classificação proposta por Varnes (1978), e posteriormente modificada por Cruden & Varnes (1996), como um sistema amplamente aceito, sendo que sua utilidade é comprovada pela popularidade alcançada em todo mundo.

Augusto Filho (1992) modelou as características dos principais grandes grupos de processos de escorregamento à dinâmica ambiental brasileira com base na classificação de Varnes (1978) (Penha, 1998). A Tabela 2.11 apresenta esta classificação.

Tabela 2.1. Características dos principais grandes grupos de processos de escorregamento (Augusto-Filho, 1992).

Processos	Características do movimento, material e geometria
Rastejo ou fluência	Vários planos de deslocamento (internos) Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada Geometria indefinida
Escorregamentos	Poucos planos de deslocamento (externos) Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade Pequenos a grandes volumes de material Geometria e materiais variáveis Planares: solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza Circulares: solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas

Processos	Características do movimento, material e geometria
	Em cunha: solos e rochas com dois planos de fraqueza
Quedas	<p>Sem planos de deslocamento</p> <p>Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado</p> <p>Velocidades muito altas (vários m/s)</p> <p>Material rochoso</p> <p>Pequenos a médios volumes</p> <p>Geometria variável: lascas placas, blocos etc.</p> <p>Rolamento de Matacão</p> <p>Tombamento</p>
Corridas	<p>Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação)</p> <p>Movimento semelhante ao de um líquido viscoso</p> <p>Desenvolvimento ao longo das drenagens</p> <p>Velocidades médias a altas</p> <p>Mobilização de solo, rocha, detritos e água</p> <p>Grandes volumes de material</p> <p>Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas</p>

O crescimento urbano acelerado e a intensificação da interferência humana nas paisagens naturais, juntamente com planejamento territorial inadequado em regiões com condições geológico-geotécnicas, hidrológicas e topográficas complexas, tem favorecido a formação de áreas de ameaça do ponto de vista de estabilidade de encostas (Cuanalo et al., 2011).

Cuanalo et al. (2011) enumeram, ainda, as seguintes atividades antrópicas como aquelas que mais afetam a estabilidade de encostas:

- Mudança na declividade natural como resultado de cortes e aterros;
- Incrementos de sobrecargas como consequência da construção de edificações ou depósitos de materiais;
- Aumento da poropressão do terreno pelo derramamento de água sem controle;
- Remoção da cobertura vegetal ou mudança na vegetação natural local.

A figura a seguir mostra um exemplo das fontes domésticas de erosão urbana que podem provocar deslizamentos.

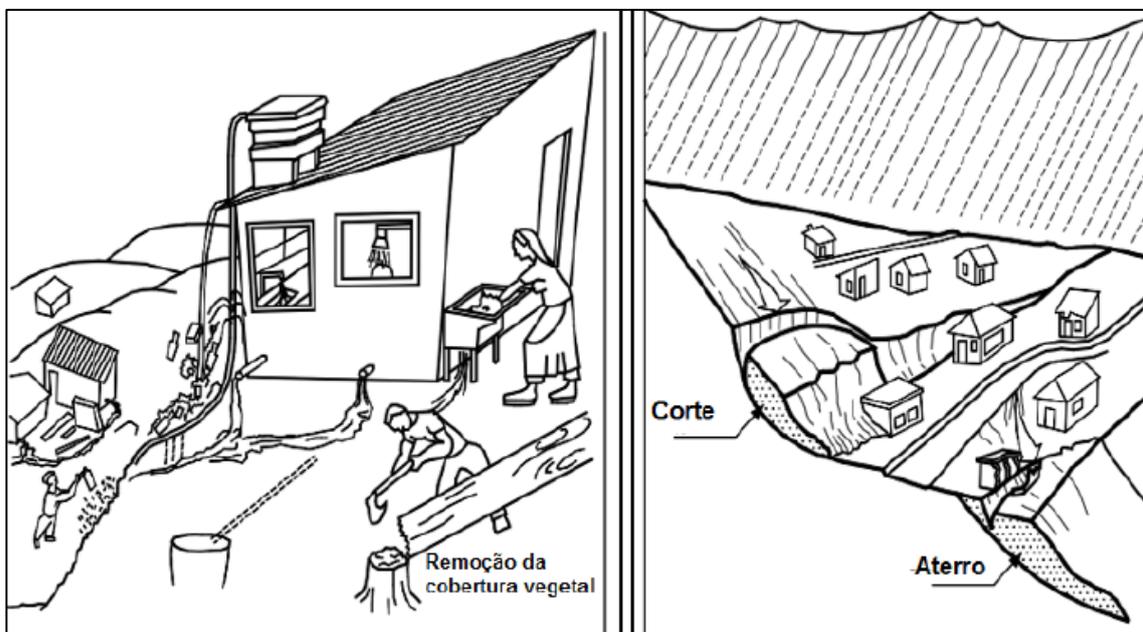


Figura 2.1 Fontes de deslizamentos a partir da atividade antrópica (Adaptado de Suarez Diaz, 1995).

Ocampo-Araya (2016) menciona que, para evitar acidentes que envolvam deslizamentos pelos motivos citados anteriormente, não basta apenas a execução de obras de intervenção. A utilização de ações preventivas, como mapeamento de áreas de ameaça e conscientização da população é essencial para a diminuição de fatalidades.

Fatores externos, como as condições climáticas ou influência de atividade humana podem afetar a estabilidade das encostas (Guidicini & Nieble, 1976), bem como as características particulares do solo, como a morfologia, topografia, geologia, vegetação e condições

hidrológicas. Além da ação dessas condicionantes, o principal elemento gerador de instabilidade em uma encosta é a gravidade, composta pela combinação entre peso próprio e o peso de eventuais carregamentos externos. O efeito aplicado pelos agentes citados é responsável pela distribuição e estabelecimento de acidentes, tanto do ponto de vista espacial quanto como temporal (Azevedo, 2011).

A Tabela 2.2 apresenta os efeitos produzidos por diferentes agentes e suas causas no maciço.

Tabela 2.2. Agentes e causas de deslizamentos (Guidicini e Nieble, 1976).

Agentes		Causas			
Predisponentes	Efetivos		Internas	Externas	Intermediárias
	Preparatórios	Imediatos			
Complexo geológico, Complexo morfológico, Complexo climato-hidrológico, gravidade, calor solar, tipo de vegetação.	Pluviosidade, erosão pela água e vento, congelamento e degelo, variação da temperatura, dissolução química, ação das fontes e mananciais, oscilação do freático, ação de animais e antrópica.	Chuvas intensas, fusão do gelo neves, erosão, terremoto, ondas, vento, ação do homem.	Efeitos das oscilações térmicas, redução dos parâmetros de resistência por intemperismo.	Mudança na geometria do sistema, efeitos de vibrações, mudanças naturais na inclinação das camadas.	Elevação do nível piezométrico em massas “homogêneas”, elevação da coluna de água em descontinuidades, rebaixamento rápido do lençol freático. Erosão subterrânea retrogressiva (piping), diminuição do efeito de coesão aparente.

De acordo com Penha (1998), a topografia de uma encosta é capaz de influenciar na geração de movimentos de massa, tanto de forma direta como indireta. O condicionamento de forma direta se estabelece pela relação existente entre a declividade e a frequência de movimentos,

apesar da ocorrência não estar sempre delimitada à área mais íngreme. A atuação indireta se dá pela ação em conjunto da topografia com a hidrologia, visto que a topografia determina zonas de convergência e divergência dos fluxos de água superficiais e subsuperficiais.

As variáveis fundamentais no estudo de estabilidade são a altura e a inclinação da encosta, enquanto que para a avaliação de erosão os mais importantes são a inclinação, o comprimento e a forma da encosta (Schor & Gray, 2007).

Em se tratando da estabilidade do maciço da encosta, a água pode interferir de maneiras distintas, visto que está presente no subsolo do terreno e, por esse motivo, influi condicionando o movimento, ou pode também se manifestar na forma de precipitação, agindo, assim, como desencadeante do evento. Penha (1998) menciona que no caso de solos não saturados, o aumento da saturação do solo resulta na diminuição das pressões de sucção, o que provoca, finalmente, uma diminuição da resistência ao cisalhamento.

Com relação à precipitação, Gostelow (1991) e Iiritano et al. (1998) complementam enunciando que este elemento pode atuar de duas formas distintas. A primeira delas é quando a ocorrência de precipitações intensas resulta na redução da resistência ao cisalhamento acompanhada da diminuição da coesão, o que pode provocar deslizamentos da massa superficial. Por outro lado, o aumento gradativo das poropressões em decorrência de períodos chuvosos pode ocasionar movimentos de massa de caráter mais profundo.

2.1.2. ÁREAS PASSÍVEIS DE INUNDAÇÃO

Segundo Tucci (1993), a inundação ocorre quando há precipitação maior do que a capacidade dos sistemas de drenagem, natural ou artificial, de transportar a água, de maneira que ela sai do leito do rio e ocupa áreas que a população utiliza para moradia, transporte, comércio, indústria, entre outros. Para Infanti Jr. & Fornasari Filho (1998), a inundação é caracterizada pelo extravasamento das águas de uma calha de um rio, quando a vazão é superior à capacidade de suporte do escoamento. De acordo, ainda, com os mesmos autores, a inundação está associada a enchentes, que são o acréscimo na descarga do fluxo por um intervalo de tempo, ou cheias, que ocorrem quando há maiores vazões diárias sucedidas em cada ano, mesmo que não haja processos de inundação.

As enchentes são os processos naturais que fazem com que a vazão de uma unidade hídrica alcance o seu valor máximo. Em cidades em que as enchentes tornam-se um problema e

provocam danos humanos e materiais, ocorre o agravamento em razão do aumento da ocupação irregular, habitação de áreas vulneráveis, depósitos de resíduos sólidos em locais incorretos, uso indevido do solo, assoreamento, solapamentos de margem fluvial e do desmatamento da cobertura vegetal. Tais ações têm como consequência o aumento de áreas impermeáveis. O aumento do escoamento superficial e da vazão da bacia hidrográfica intensifica a ocorrência de enchentes. (Enemoto, 2004). O esquema a seguir distingue os tipos de escoamento e acúmulo superficial de água.



Figura 2.2. Distinção dos tipos de escoamento e acúmulo superficial de água. (<http://dscbcsp.blogspot.com.br> e modificado de Carvalho et al, 2007.)

À medida que o número de inundações de grande impacto vai reduzindo, mais difícil é manter uma área com alta susceptibilidade a ocorrência de enchentes livre de ocupação humana (Araújo et al., 1998). Dessa forma, determinar a área em que há possibilidade de inundação é necessário para que a ameaça de danos humanos e materiais seja reduzida.

2.2. ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

Conforme a Seção 1 do capítulo II do Código Florestal, Lei N° 12.651/12 (Brasil, 2012), de 25 de maio de 2012, o artigo 4 considera como áreas de preservação permanente as seguintes regiões:

“I - as faixas marginais de qualquer curso d’água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de: (Incluído pela Lei nº 12.727, de 2012).

a) 30 (trinta) metros, para os cursos d’água de menos de 10 (dez) metros de largura;

b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d’água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;

c) 100 (cem) metros, para os cursos d’água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;

d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d’água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;

e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d’água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;

II - as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima de:

a) 100 (cem) metros, em zonas rurais, exceto para o corpo d’água com até 20 (vinte) hectares de superfície, cuja faixa marginal será de 50 (cinquenta) metros;

b) 30 (trinta) metros, em zonas urbanas;

III - as áreas no entorno dos reservatórios d’água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d’água naturais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento; (Incluído pela Lei nº 12.727, de 2012).

IV - as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d’água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros; (Redação dada pela Lei nº 12.727, de 2012).

V - as encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive;

VI - as restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;

VII - os manguezais, em toda a sua extensão;

VIII - as bordas dos tabuleiros ou chapadas, até a linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais;

IX - no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação;

X - as áreas em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação;

XI - em veredas, a faixa marginal, em projeção horizontal, com largura mínima de 50 (cinquenta) metros, a partir do espaço permanentemente brejoso e encharcado.”.

A criação das APP tem como objetivo a proteção do ambiente natural, pois estas são áreas inapropriadas para alteração de uso do solo, devendo estar cobertas com a vegetação original (Catelani & Batista, 2007).

A cobertura vegetal original nessas áreas possibilita a diminuição dos efeitos erosivos e a lixiviação dos solos, auxiliando também na redução do assoreamento das drenagens e reservatórios, na regularização do fluxo hídrico e proporcionando benefícios para a fauna (Costa et al., 1996).

2.3.CRITÉRIOS DA REGULARIZAÇÃO FUNDIÁRIA URBANA PARA ÁREAS DE PROTEÇÃO PERMANENTE PARA ÁREAS NÃO IDENTIFICADAS COMO ÁREAS DE RISCO

A Reurb é um instrumento jurídico de política urbana, um conjunto de normas gerais e procedimentos, que abrange medidas jurídicas, ambientais, urbanísticas e sociais, com vistas a tirar da informalidade determinados núcleos urbanos e seus ocupantes.

Conforme a Seção 2 do Capítulo XII do Código Florestal, Lei N° 12.651 (Brasil, 2012), com alterações de redação dadas pela Lei nº 13.465, de 2017, o Artigo 65 considera que:

“Na REURB-E dos núcleos urbanos informais que ocupam Áreas de Preservação Permanente não identificadas como áreas de risco, a regularização fundiária será admitida por meio da aprovação do projeto de regularização fundiária, na forma da lei específica de regularização fundiária urbana.

§ 1º O processo de regularização fundiária de interesse específico deverá incluir estudo técnico que demonstre a melhoria das condições ambientais em relação à situação anterior e ser instruído com os seguintes elementos:

I - a caracterização físico-ambiental, social, cultural e econômica da área;

II - a identificação dos recursos ambientais, dos passivos e fragilidades ambientais e das restrições e potencialidades da área;

III - a especificação e a avaliação dos sistemas de infraestrutura urbana e de saneamento básico implantados, outros serviços e equipamentos públicos;

IV - a identificação das unidades de conservação e das áreas de proteção de mananciais na área de influência direta da ocupação, sejam elas águas superficiais ou subterrâneas;

V - a especificação da ocupação consolidada existente na área;

VI - a identificação das áreas consideradas de risco de inundações e de movimentos de massa rochosa, tais como deslizamento, queda e rolamento de blocos, corrida de lama e outras definidas como de risco geotécnico;

VII - a indicação das faixas ou áreas em que devem ser resguardadas as características típicas da Área de Preservação Permanente com a devida proposta de recuperação de áreas degradadas e daquelas não passíveis de regularização;

VIII - a avaliação dos riscos ambientais;

IX - a comprovação da melhoria das condições de sustentabilidade urbano-ambiental e de habitabilidade dos moradores a partir da regularização; e

X - a demonstração de garantia de acesso livre e gratuito pela população às praias e aos corpos d'água, quando couber.

§ 2º Para fins da regularização ambiental prevista no caput, ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água, será mantida faixa não edificável com largura mínima de 15 (quinze) metros de cada lado.

§ 3º Em áreas urbanas tombadas como patrimônio histórico e cultural, a faixa não edificável de que trata o § 2º poderá ser redefinida de maneira a atender aos parâmetros do ato do tombamento.”

Desta forma, a avaliação de riscos ambientais vem como instrumento restritivo e imprescindível legal para a regularização fundiária, ou seja, para a delimitação de áreas passíveis de ocupação. Nota-se que, em área de interesse específico, existe flexibilização da faixa mantida como edificável e, como a área de pesquisa é caracterizada como tal, no que couber, essa flexibilização será apontada para indicação correta de acordo com a lei vigente das áreas aptas à ocupação.

2.4.GEOPROCESSAMENTO E ANÁLISE AMBIENTAL

Segundo Pina & Santos (2000) o geoprocessamento decorre da união de diversas tecnologias de tratamento e manipulação de dados geográficos por meio de programas computacionais. De acordo com Câmara & Davis (2001), seu uso tem se dado de maneira crescente, nas áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional.

Conforme Zuquette (1993), o mapeamento geotécnico tem como objetivo o levantamento, avaliação e análise dos atributos que compõem o meio físico. O mapeamento geotécnico consiste na representação cartográfica dos componentes geológico-geotécnicos relevantes para o uso e ocupação do solo e subsolo em projetos, construções e manutenções quando aplicados a engenharia civil na identificação de problemas ambientais, podendo ser obtido por meio das práticas de geoprocessamento.

Utilizando técnicas de geoprocessamento pode-se obter, por exemplo, o mapa de aptidão geotécnica para fins de ocupação urbana através do cruzamento dos planos de informações geológico-geotécnico com aquele relativo a declividade e inundação.

2.4.1. CARACTERÍSTICAS DO SIG

De acordo com Pina & Santos (2000), os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são imprescindíveis na manipulação de dados geográficas em função da sua capacidade de concentrar grande quantidade de informações convencionais de expressão espacial de forma adequadamente estruturada.

As três principais funções de um SIG, destacadas por Pina & Santos (2000), as quais necessitam vários insumos e derivam-se do objetivo pretendido com o sistema são:

- Armazenamento, manejo e integração de grandes quantidades de dados referenciados espacialmente;
- Fornecer meios para realizar análises relacionadas especificamente a componentes geográficos dos dados;
- Organização e o manejo de grandes quantidades de dados e a forma como estas informações podem ser facilmente acessadas por todos os usuários.

2.4.2. ESTRUTURA DE UM SIG

Segundo Câmara & Davis (2001), um SIG possui, numa visão mais abrangente, os seguintes componentes:

- Interface com usuário;
- Entrada e integração de dados;
- Funções de consulta e análise espacial;
- Visualização e plotagem;
- Armazenamento e recuperação de dados (organizados sob a forma de um banco de dados geográficos).

Os componentes listados interagem de forma hierárquica, de maneira que o nível que se mostra mais próximo do usuário, referente à interface homem-máquina, define a maneira como o sistema é operado e controlado. As ferramentas de processamento de dados espaciais (entrada, edição, análise, visualização e saída) de um SIG encontram-se a um nível intermediário, e um sistema de gerência de banco de dados geográficos corresponde ao seu nível mais interno.

2.4.3. TIPOS DE DADOS

De acordo com Pina & Santos (2000), a base de informação dos SIG são constituídas por uma coleção de dados digitais espaciais organizados de maneira estruturada que apresentam como atributo básico o fato de serem formados por duas componentes complementares:

- Gráfica (mapas): consiste na descrição gráfica do objeto tal como exposto em um mapa, representando a localização, as feições geográficas e os relacionamentos espaciais entre as feições;
- Alfanumérica (tabelas): reproduzem as características, as qualidades ou relacionamentos de feições na representação cartográfica de forma a descrever os eventos e fenômenos, tanto sociais quanto naturais, existentes no mapa.

Os dados com características gráficas são organizados por meio de planos de informação, definidos por camadas com feições gráficas ligadas espacialmente. Cada camada representa um tema ou uma classe de informação, que contém os elementos de estudo sendo que, por meio de um sistema de coordenadas em comum, evidencia a estratificação das informações. Um exemplo das informações gráficas por meio de planos de informação é representado na figura a seguir.

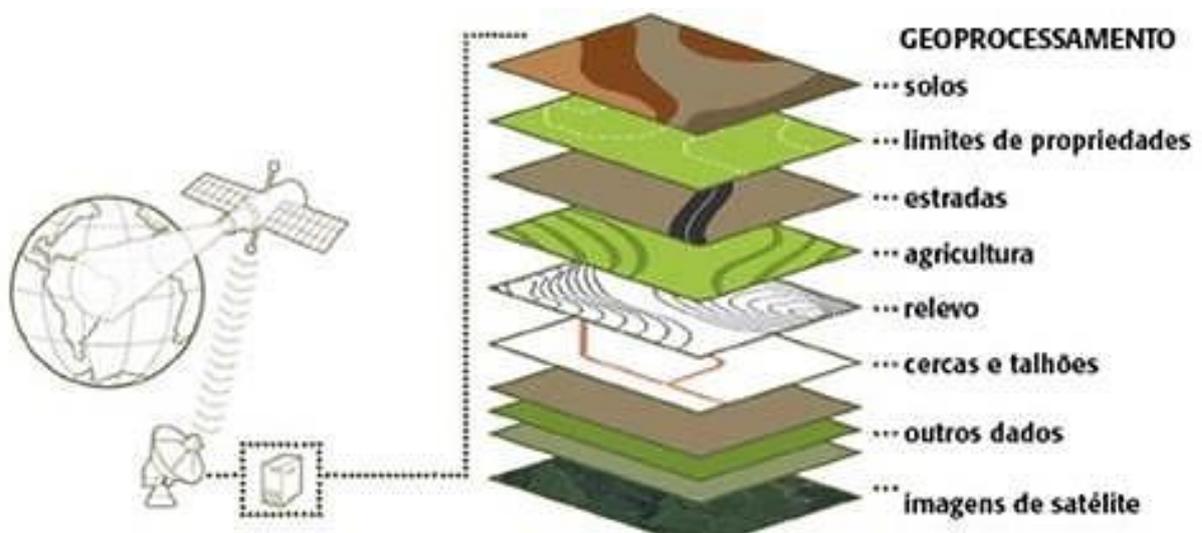


Figura 2.3. Representação da organização de dados em planos de informação (Dias, 2004).

Conforme discorrem Câmara et al. (2001), os tipos de dados utilizados em geoprocessamento podem ser classificados nas categorias temática, cadastral, rede, modelo numérico do terreno e imagem.

Segundo García (2004), as informações de característica geográfica são descritas por dados temáticos, representados de maneira qualitativa, incorporadas ao sistema por meio de classificação de imagens ou por digitalização. Como exemplo, a figura seguinte representa um mapa temático referente ao uso do solo.

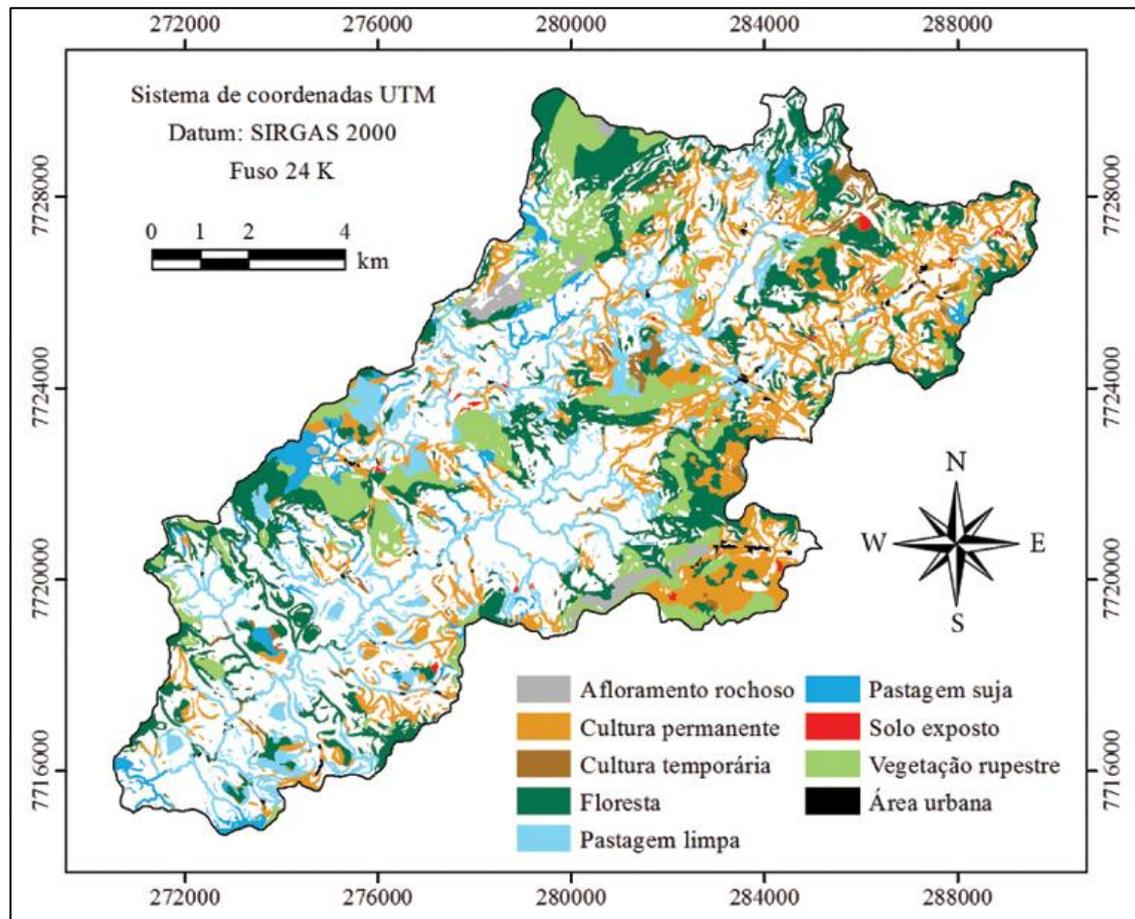


Figura 2.4. Exemplo de mapa temático de uso e cobertura do solo do município de Castelo, Espírito Santo (Castro et al, 2007).

Em se tratando dos dados cadastrais, os elementos desse tipo de dado representam um objeto geográfico que pode ser associado a várias representações gráficas e que possui atributos, os quais são registrados em um sistema de banco de dados (Câmara & Davis, 2001).

Ainda de acordo com Câmara et al (2001), as informações ligadas a serviços de utilidade pública, redes de drenagem ou rodovias, referem-se, dentro do SIG, ao conceito e “rede”. Esse tipo de informação vincula-se a cada objeto geográfico por meio de atributos descritivos existentes no banco de dados e apresenta localização geográfica exata. Para representar uma informação que se modifica continuamente no espaço, utiliza-se o modelo numérico do

terreno ou a sigla MNT. A definição de um MNT pode ser compreendida como um modelo matemático que retrata uma superfície real a partir de algoritmos e uma coleção de pontos (x,y), em um referencial qualquer, compostos por atributos de z, que reproduzem a variação contínua da superfície.

De acordo com García (2004), o MNT é fundamental na elaboração de modelos de predição de zonas susceptíveis ao movimento de massa, uma vez que os mapas de declividade e característica da encosta podem ser derivados a partir do MNT proveniente da topografia. A Figura 2.5 exemplifica um MNT.

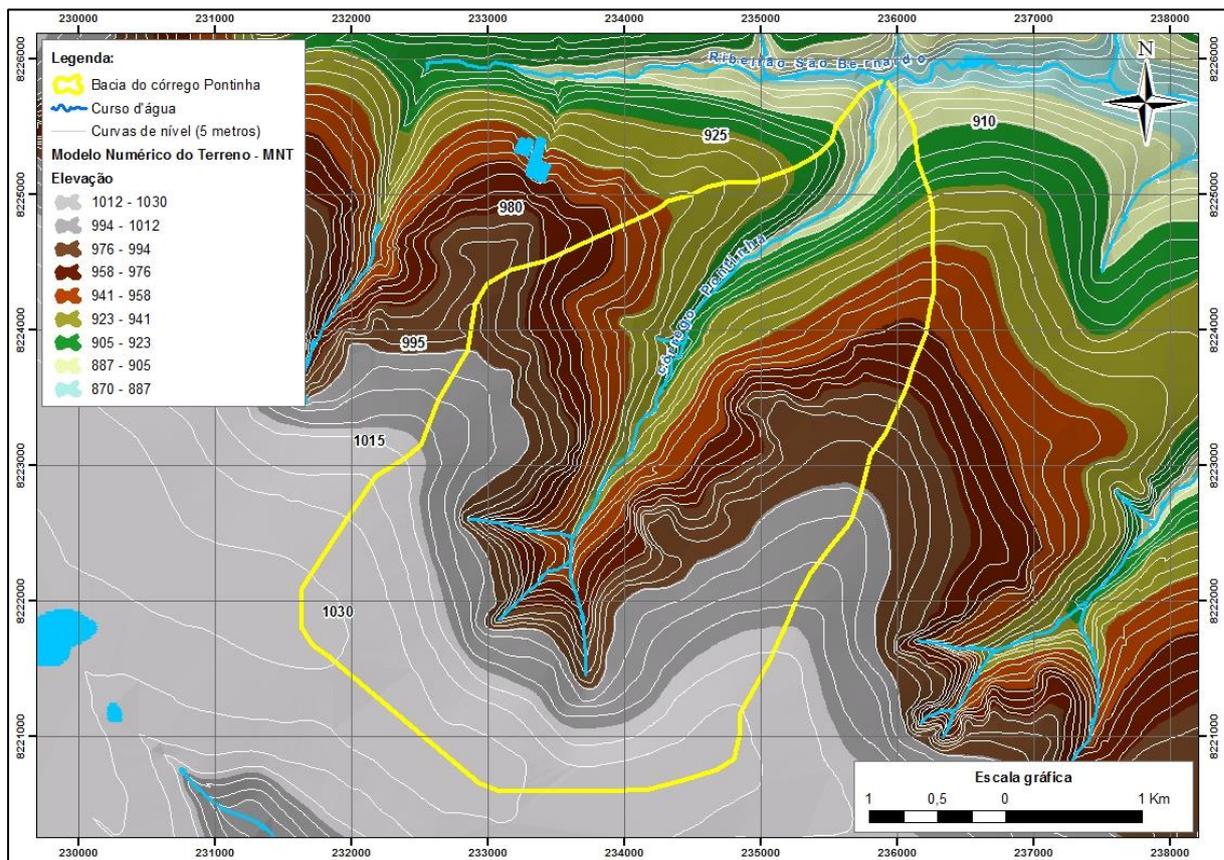


Figura 2.5. Exemplo de modelo numérico do terreno composto por isolinhas de topografia da sub-bacia do córrego Pontinha, Distrito Federal.

As imagens são as informações espaciais obtidas de maneira indireta, como as obtidas por satélites ou aerofotogrametria. Cada elemento constituinte da imagem, denominado pixel, possui valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície correspondente, conforme a imagem para a região da sub-bacia do Córrego Pontinha ilustrada na Figura 2.62.6.

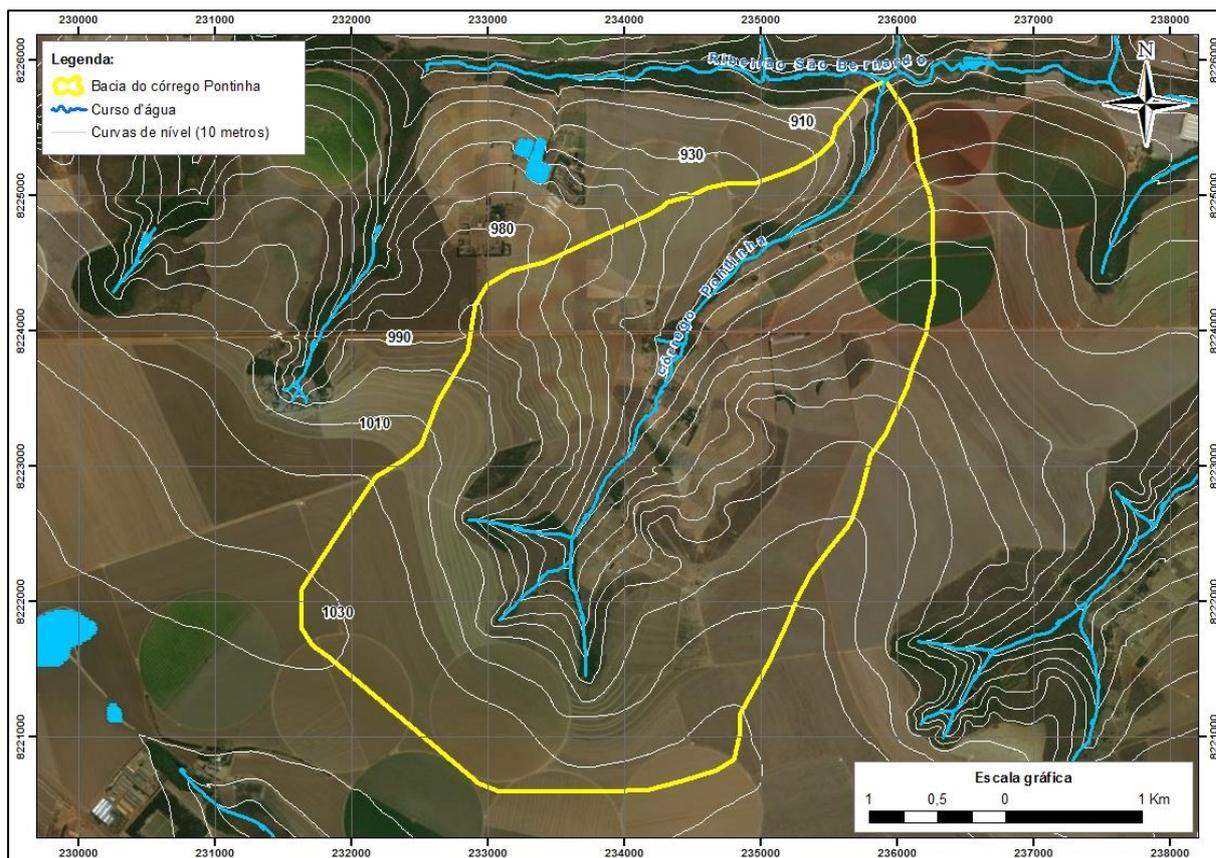


Figura 2.6. Exemplo de imagem para a sub-bacia do córrego Pontinha, Distrito Federal.

2.5. MODELOS PARA ANÁLISE DE APTIDÃO À OCUPAÇÃO

2.5.1. PROCESSO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (AHP)

Conforme Nascimento et al. (2009), a análise espacial do território urbano tem permitido a definição de ações correspondentes à gestão do uso e ocupação do solo urbano, determinando políticas públicas que regulem a sua utilização. Seguindo uma perspectiva moderna de gestão do território, a análise de diferentes componentes que formam o meio ambiente (incluindo o meio físico-biótico, a ocupação humana e o seu inter-relacionamento) deve estar presente em toda a ação que envolva o planejamento, ordenamento ou monitoramento do espaço (Câmara et al., 2001).

Para a avaliação da adequação geotécnica para fins de urbanismo da área de estudo pode-se utilizar ferramentas de análise multicriterial, como o método de análise hierárquica, e de álgebra de mapas dentro de um ambiente SIG. Embora as abordagens de análise multicritério e os SIG apresentem-se como elementos muito distintos, é possível combinar estas técnicas

para analisar de forma mais confiável questões que envolvam planejamento e gerenciamento do mundo real (Zambon et al., 2005).

O fundamento do método de análise hierárquica, o AHP (*Analytic Hierarchy Process*) é a decomposição e síntese das relações entre os critérios até que se chegue a uma priorização dos seus indicadores, aproximando-se de uma melhor resposta de medição única de desempenho (Saaty, 1977). Tal método tem como base a definição de uma escala de importância entre os fatores ambientais analisados, considerados relevantes no entendimento do problema, de forma a colocá-los em uma matriz de relacionamentos. Isto permite a execução de uma comparação pareada entre os fatores, possibilitando a percepção de que exista uma hierarquia de importância entre os elementos (Berger et al., 2007).

Segundo Santos et al. (2010), uma das partes mais importantes no procedimento de composição de mapas pelo uso desta técnica corresponde à etapa de atribuição dos valores, uma vez que o resultado da avaliação seria diretamente influenciado pelos valores de importância atribuídos a fator.

Conforme ainda Santos et al. (2010), para o uso da AHP no caso específico de susceptibilidade a inundação, a qual corresponde a um dos elementos condicionantes a ocupação urbana, os fatores ambientais relacionados à altitude, declividade, uso do solo e tipo do solo têm importância preponderante e são considerados como aqueles que influenciam diretamente no nível da água atingido por uma enchente, independentemente da precipitação incidente. Tratando-se da relevância destes elementos no fenômeno das inundações, podem-se citar algumas justificativas:

- Altitude: a probabilidade de inundação é menor quanto maior for a altitude, em decorrência da ação da gravidade que direciona a água para regiões mais baixas;
- Declividade: fator que se relaciona diretamente com o acúmulo de água. Áreas mais íngremes têm menores chances de sofrerem inundações em relação a áreas planas;
- Uso do solo: a infiltração e o escoamento superficial da água são influenciados pelo uso e ocupação do solo, sendo que solos com cobertura vegetal tendem acumular menos água que áreas impermeabilizadas;
- Tipo de solo: influencia no escoamento superficial da água e na capacidade de infiltração.

O modelo de susceptibilidade dado pela AHP seria indicado pela equação abaixo:

$$ISI = x_1. \textit{Altitude} + x_2. \textit{Declividade} + x_3. \textit{Ocupação} + x_4. \textit{Solo} \quad (2.1)$$

Onde ISI representa o índice de susceptibilidade à inundação. Altitude, Declividade, Ocupação e Solo referem-se às características ambientais condicionantes da inundação e x_1 , x_2 , x_3 e x_4 representam os pesos estatísticos destas variáveis, variando de 0 a 1. Essa mesma abordagem pode ser empregada para o problema de aptidão a urbanização considerando-se a adequada escolha dos fatores condicionantes e sua importância relativa.

2.5.2. LÓGICA FUZZY

De acordo com Mendel (1995), a lógica fuzzy é uma técnica que fornece um mecanismo que é capaz de manipular informações imprecisas. A base da lógica fuzzy foi desenvolvida por Lotfi Zadeh na década de 1960 e sua principal característica é dar um tratamento matemático a certos termos linguísticos imprecisos como: aproximadamente, em torno de ou pouco baixo, dentre outros termos diferentes da lógica clássica, onde os predicados são termos exatos como “igual a”, “maior que” ou “ímpar”, dentre outros.

Segundo Mendel (1995), na lógica fuzzy não existem verdadeiros (1) e falsos (0), mas uma infinidade de valores verdade, os quais são expressões linguísticas interpretadas como subconjunto fuzzy de um intervalo unitário. Este aspecto facilita a programação e o armazenamento de dados imprecisos pelos computadores, permitindo a realização de cálculos com informações imprecisas, a exemplo do que fazem os seres humanos.

A lógica fuzzy, quando utilizada na padronização das informações, auxilia de forma a definir os pesos dos fatores ambientais causadores de instabilidade de taludes que serão incorporados na análise de susceptibilidade a ocorrência de movimentos de massa ao Método FOSM.

2.5.3. ANÁLISE DE SUSCEPTIBILIDADE DE MOVIMENTOS DE MASSA

De acordo com Vidal (2012), a susceptibilidade em relação aos movimentos de massa pode ser definida como a tendência do ambiente físico e dos elementos inerentes ao maciço (como, por exemplo, geologia, inclinação das vertentes e geomorfologia) à ocorrência de deslizamentos. A avaliação da susceptibilidade ao deslizamento pode ser considerada como etapa inicial para uma avaliação de vulnerabilidade geotécnica e, também como produto final

determinante utilizado no planejamento do uso do solo e da avaliação do impacto ambiental (OCampo-Araya, 2016).

Para a análise de estabilidade em termos de probabilidade de ruptura (PR), será utilizado o modelo FOSM de análise probabilística (*First Order Second Moment*) combinado com uma função de desempenho, para posterior geração de cartas com indicativos de estabilidade das encostas.

A função de desempenho utilizada considera a análise de estabilidade de um talude infinito em solo homogêneo, calculada em termos de tensões efetivas, em que o retorno dessa função é o fator de segurança (FS) associado (Biondi et al., 2000). A equação 2.2 representa a função de desempenho adotada.

$$FS = \frac{c'}{\gamma \times H \times \sin \alpha \times \cos \alpha} + \frac{\tan \phi'}{\tan \alpha} \quad (2.2)$$

Em que:

c' : coesão efetiva, em kPa;

ϕ' : ângulo de atrito efetivo do solo, em graus;

γ : peso específico do solo, em kN/m³;

H : profundidade média do solo na superfície de ruptura potencial, em m;

α : inclinação média do talude, em graus.

A sistemática de execução do método FOSM pode ser resumida pelo cálculo do valor médio do fator de segurança ($E[FS]$) e da variância do mesmo ($V[FS]$), definido nas equações 2.3 e 2.4.

$$E[FS] = FS(\bar{c}', \bar{\phi}', \bar{H}, \bar{\alpha}, \bar{\gamma}) \quad (2.3)$$

$$V[FS] = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial FS}{\partial x_i} \right)^2 \cdot V(x_i) \quad (2.4)$$

onde x_i está relacionado a cada uma das variáveis independentes escolhidas com características estatísticas, $V(x_i)$ refere-se a sua variância e $\frac{\partial FS}{\partial x_i}$ é a derivada de FS com relação a variável estatística em questão.

A distribuição estatística para cada uma das variáveis independentes pode ser definida por meio do seu valor médio e desvio padrão, segundo a equação 2.5.

$$\sigma_i = \bar{X}_i \cdot \frac{CV_i}{100} \quad (2.5)$$

em que σ_i é o desvio padrão da variável estatística, \bar{X}_i a média dessa variável e CV_i o seu coeficiente de variação expresso em porcentagem. Por exemplo, os coeficientes de variação podem ser considerados iguais a 40% para a coesão efetiva e 10% para o ângulo de atrito efetivo (Montoya & Assis, 2011).

Ainda de acordo com Montoya & Assis (2011), o valor médio e o desvio padrão do fator de segurança (FS) definem a distribuição normal da variável dependente, sendo a probabilidade de ruptura, definida como a área sob a curva normal em relação aos valores de FS inferiores a 1.

3. METODOLOGIA

A presente seção tem como objetivo principal a descrição da metodologia utilizada na geração de carta de aptidão geotécnica para a área do Setor Habitacional Bernardo Sayão, localizado no Distrito Federal, Brasil, entre as latitudes $15^{\circ}30'$ / $16^{\circ}03'S$ e as longitudes $47^{\circ}18'$ / $48^{\circ}17'W$. A área do setor habitacional em estudo, bem como o detalhe da localização da ARINE da região, encontra-se na figura abaixo.

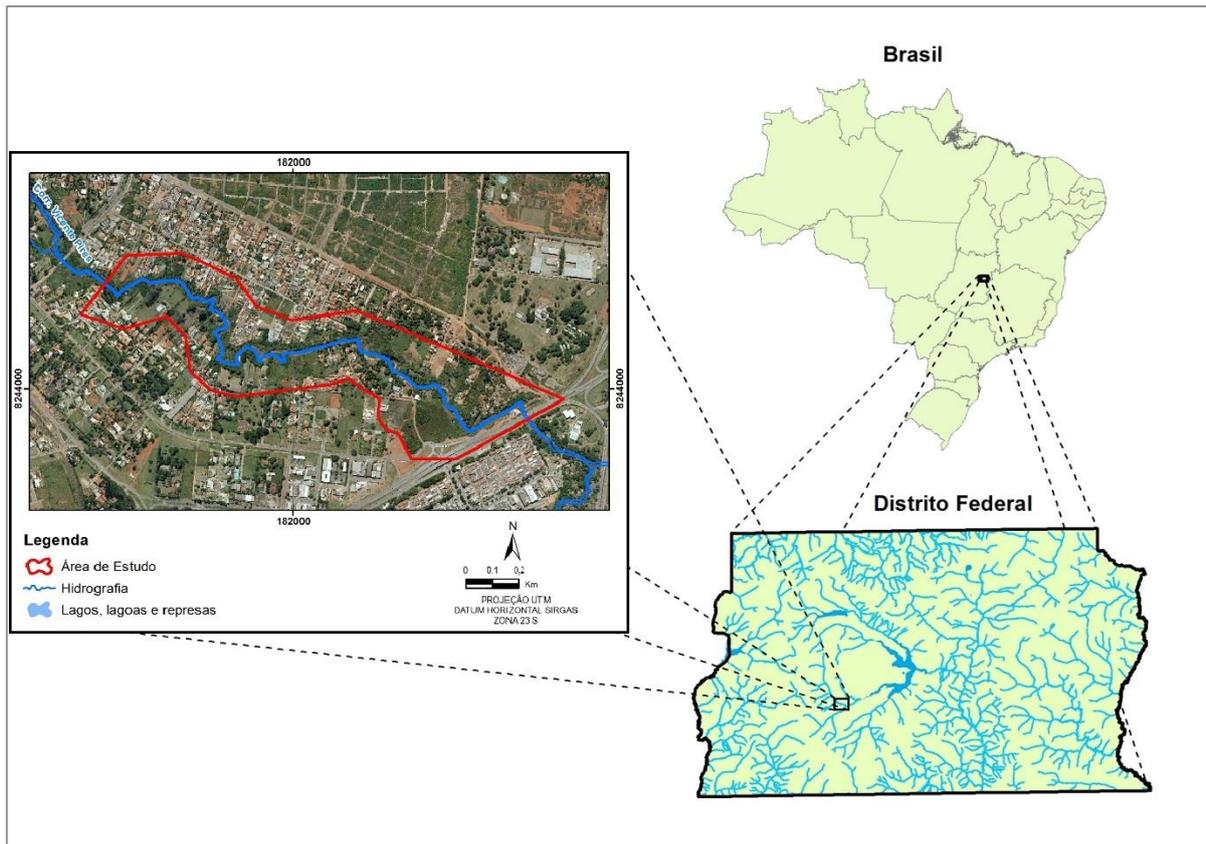


Figura 3.1. Localização do Setor Habitacional Bernardo Sayão – SHBS

Em função da extensão do setor habitacional, foi definida, como base em uma análise prévia das condições ambientais, uma região específica para a aplicação dos modelos previstos. A área escolhida está localizada ao longo do córrego Vicente Pires. Dentro desse contexto, para a escolha, foram utilizados os seguintes critérios:

- Área de pressão urbana intensa;
- Apreciação da geomorfologia local;

- Existência de histórico de inundações;
- Áreas com restrições ambientais.

A Figura 3.2 mostra a delimitação na qual as análises foram efetivadas.

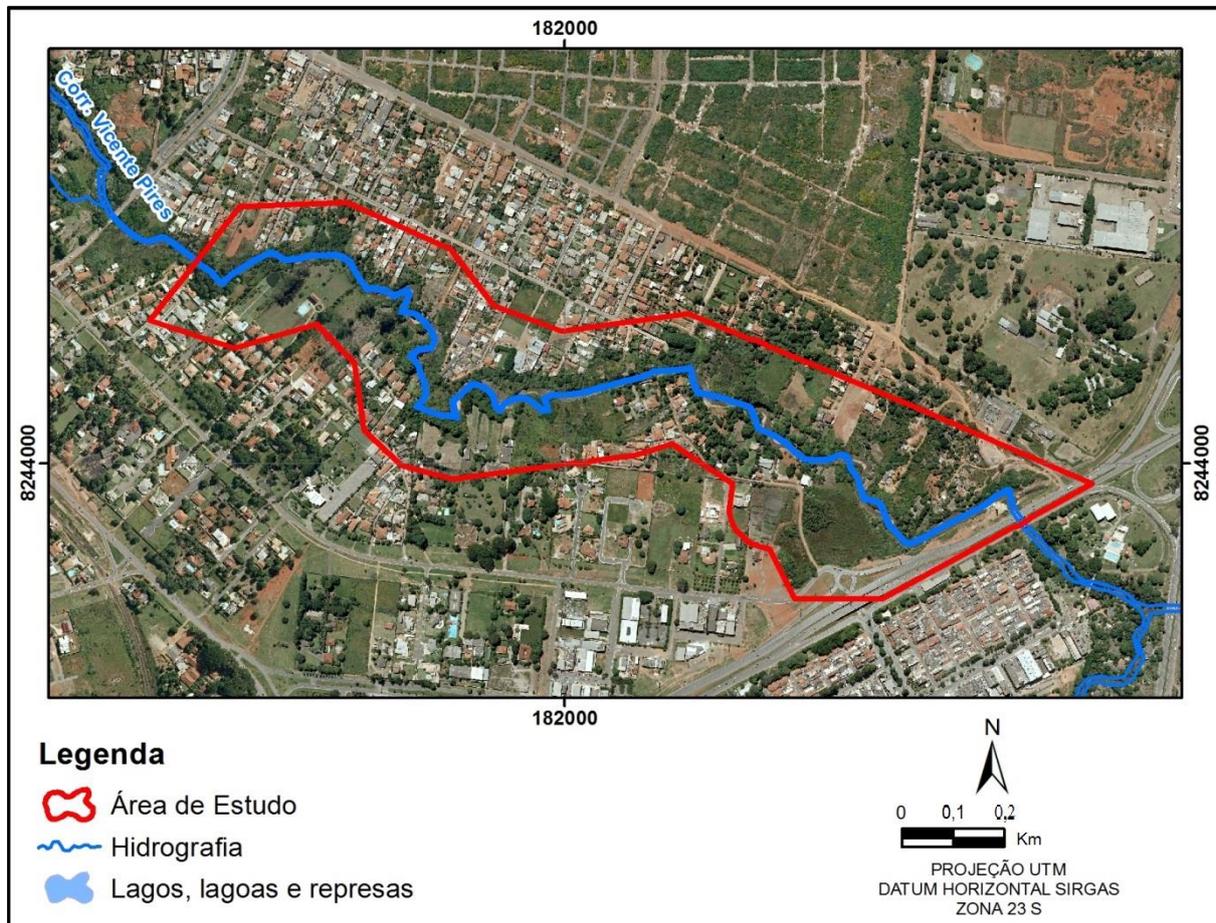


Figura 3.2. Delimitação da área de estudo.

Em termos de ferramentas computacionais utilizadas para o tratamento das informações no presente estudo, destacam-se as plataformas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), plataforma do e softwares voltados para análise estatística e a manipulação de dados em formato matricial.

A metodologia aplicada faz uso de lógica Fuzzy e lógica booleana, em conjunto com a técnica de AHP, como suporte na realização dos procedimentos de análise espacial, visando à geração de um cenário com as áreas aptas para ocupação urbana. O processo metodológico pode ser resumido pela Figura 3.3.

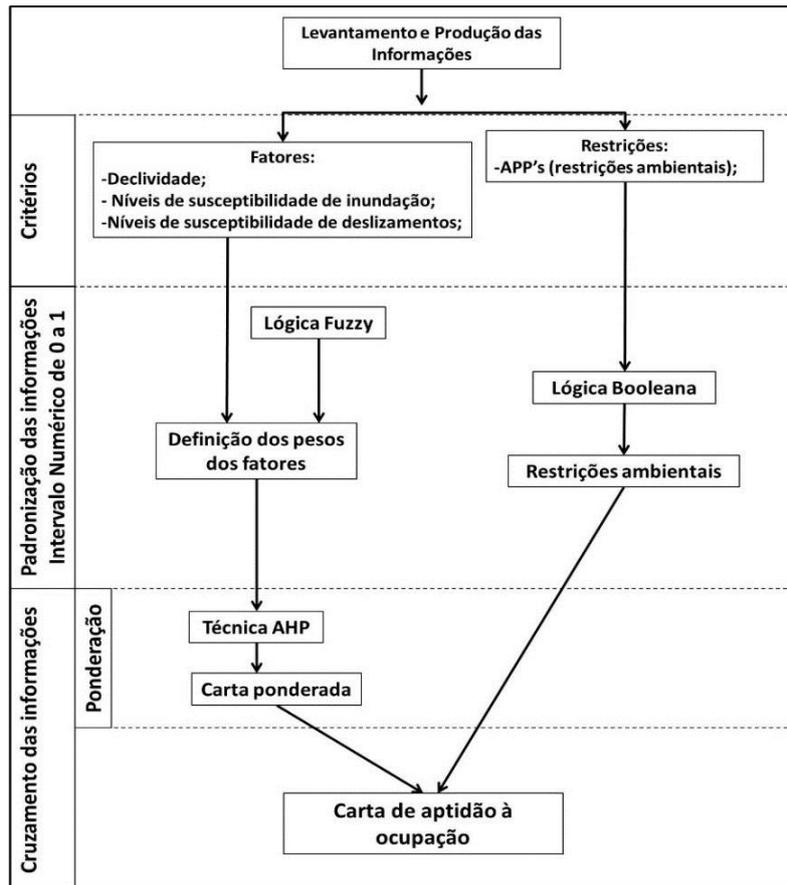


Figura 3.3 Etapas da metodologia para a definição das áreas favoráveis a ocupação.

A totalidade das etapas desenvolvidas encontra-se descritas abaixo.

3.1.OBTENÇÃO DOS DADOS

Obtenção da informação secundária, correspondente aos dados disponíveis na literatura e em outras fontes, os quais são necessários para a criação de insumos básicos para etapas posteriores. A relação de dados básicos é apresentada a seguir:

- Levantamento planialtimétrico. O levantamento planialtimétrico foi fornecido pela Companhia Imobiliária de Brasília - TERRACAP;
- Mapa de solo, de uso e cobertura e hidrografia do Setor Habitacional Bernardo Sayão;
- Dados de nível estático dos piezômetros, fornecidos pela TERRACAP;
- Dados de ensaios de campo e de laboratório disponíveis (nível estático de piezômetros instalados na área, resultados dos ensaios de cisalhamento direto, sondagens existentes, entre outros) fornecidos pela TERRACAP.

3.2. ORGANIZAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

3.2.1. ANÁLISE DE ENSAIOS DE LABORATÓRIO E DE CAMPO.

A partir dos resultados dos ensaios de campo e de laboratório obtidos, foi realizada avaliação dos dados consistentes e pertinentes para aplicação nesse trabalho, os quais serviram de apoio para a posterior regionalização das variáveis necessárias para as etapas seguintes e geração de banco de dados para o SIG. Valores médios dos parâmetros, faixa de valores representativos, principais estatísticos e detecção de dados anômalos, foram as principais análises a serem realizadas para efeitos de diagnóstico dos dados utilizados.

3.2.2. ANÁLISE HIDROLÓGICA

Nascimento (2009) ressalta que a profundidade do lençol freático deve ser avaliada com cuidado em decorrência de efeitos de contaminação e degradação do recurso hídrico, bem como na possibilidade de instabilidade de edificações quando o nível é raso.

O resultado desta etapa correspondeu na confecção da Carta de Nível Freático para a região avaliada, com o objetivo de auxiliar na verificação e validação da mancha de inundação a ser obtida. O procedimento utilizado para a geração da superfície freática baseia-se no tratamento estatístico dos dados pontuais de nível freático, seguido pela sua interpolação espacial.

A análise exploratória dos dados consiste do processamento através de estatísticas univariadas. Estas estatísticas univariadas fornecem um meio de organizar e sintetizar um conjunto de valores, que se realiza principalmente através do histograma. Características importantes do histograma são: (i) medidas de localização: média; (ii) medidas de dispersão: variância e desvio padrão.

Para a definição dos valores anômalos ou atípicos (*outliers*), utilizou-se o teste Score Z (ou Escore Padronizado), o qual estabelece quanto uma determinada medida se afasta da média da distribuição em termos de desvios padrões. Seu cálculo é realizado pela equação abaixo:

$$Z = \frac{x - \bar{x}}{DP_{amostra}} \quad (3.1)$$

Onde Z é o valor do Score Z, x é um dado da série, \bar{x} é a média da amostra e $DP_{amostra}$ é o desvio padrão da amostra.

Considera-se *outlier* o valor que se encontrar a uma determinada quantidade de desvios padrões da média. Para o presente trabalho considerou-se uma distância superior a dois desvios padrões para a classificação de dados atípicos.

O procedimento de interpolação espacial previsto para o uso no desenvolvimento da superfície freática corresponde à geração de uma malha irregular triangular (TIN, do inglês *Triangulated Irregular Network*) a partir das amostras pontuais de dados dos piezômetros. Uma vez gerada a grade irregular triangular, esta servirá de input para a criação de uma malha retangular (ou regular).

Tratando-se do TIN e conforme a Figura 3.43.3, cada polígono que forma uma face do poliedro é um triângulo no contexto da modelagem por meio de grade irregular triangular. Os vértices dos triângulos em geral correspondem aos pontos de amostra (Lopes, 2010).

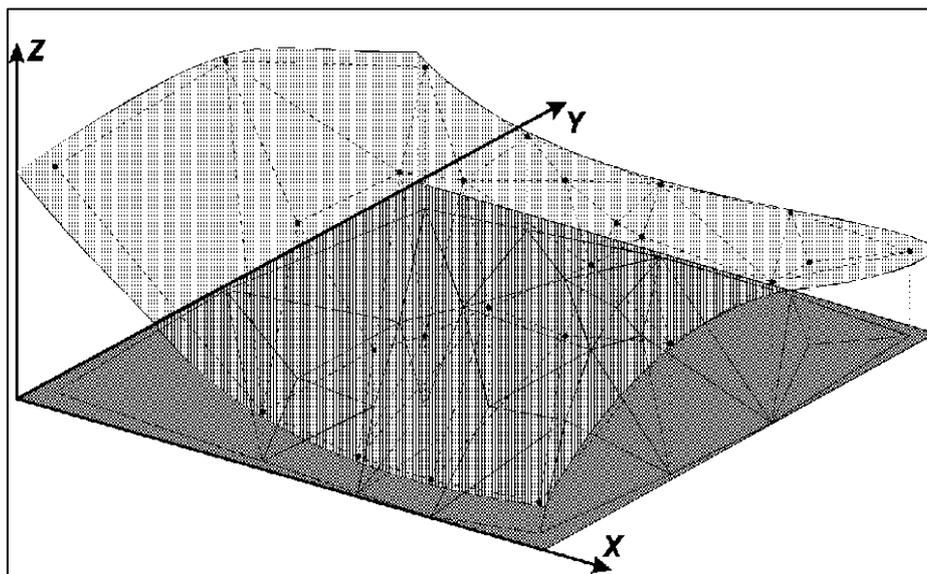


Figura 3.4. Modelo de superfície resultante de grade triangular (Lopes, 2010).

Ao considerar as arestas dos triângulos, esta modelagem permite a incorporação na grade triangular de informações morfológicas importantes, preservando no processo de modelagem da superfície as suas feições geomórficas.

Já o modelo digital representado pela grade regular aproxima superfícies através de um poliedro de faces retangulares, devendo ser gerado quando os dados amostrados não são conseguidos com espaçamento regular. A Figura 3.53.4 ilustra uma superfície regular.

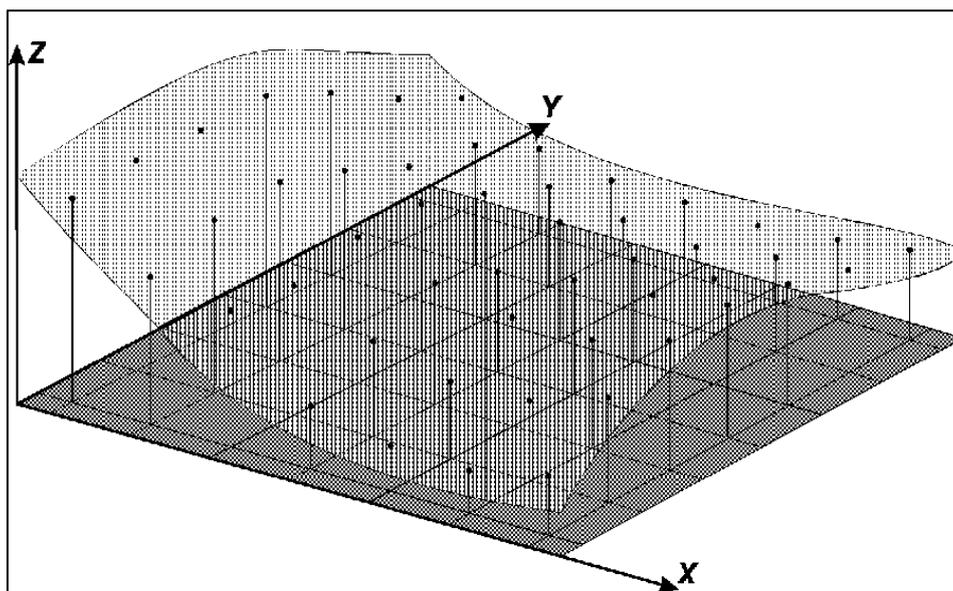


Figura 3.5. Modelo de superfície gerada por uma grade retangular (Lopes, 2010).

O formato raster do MNT do nível freático é estabelecido convertendo-se a grade triangular em uma grade retangular, possibilitando a análise das informações modeladas em uma representação matricial. Para essa conversão, pode-se empregar um interpolador linear ou polinomial.

Na interpolação linear, a determinação dos valores de cota em cada posição da matriz dentro do triângulo é realizada de forma que cada retalho triangular da grade é ajustado por um plano.

O interpolador polinomial utiliza um polinômio de quinto grau para ajustar o retalho da grade, o que proporciona uma superfície mais suave em comparação com a aquela definida pelo interpolado linear.

Abaixo se encontram o resumo das etapas para a análise de dados piezométricos:

- 1- Análise estatística dos dados de níveis freáticos: As medições disponibilizadas nos poços, referentes à série temporal disponível, permitirão a síntese destas informações em termos de um dado período (nível freático médio em um mês específico de leitura, por exemplo). O conjunto de dados resumido estará relacionado com a localização no mapa (coordenadas X e Y de um dado poço) criando um novo conjunto de pontos que se relacionam com a série temporal sintetizada. A síntese dos dados será conseguida

pela aplicação de um estudo estatístico que terá como input as medições do nível freático válidas. O *output* corresponderá um conjunto de características para cada ponto com um atributo que representará a estatística calculada (a exemplo no nível freático médio);

- 2- Interpolação com o uso do SIG para a criação da superfície freática: uso de algoritmo de interpolação espacial dos valores armazenados/analísados nas localizações dos pontos conhecidos.

3.2.3. ANÁLISE DE ÁREAS DE INUNDAÇÃO

Combinando-se as variáveis ambientais relevantes para a análise no processo de inundação (altitude, declividade, uso do solo e tipo de solo) pelo uso do modelo de Análise Hierárquica Ponderada, foram definidas as classes de índices de susceptibilidade de inundação para a área de estudo e utilizadas como insumo para a determinação da área passível à ocupação. Podem-se definir quatro fases para a aplicação da metodologia, as quais são listadas abaixo:

1. Elaboração dos planos de informação das informações básicas: A hipsometria será representada pela grade do MNT, obtida diretamente junto a TERRACAP. A matriz de declividades das encostas deriva da grade de MNT. As grades de MNT e declividade serão fatiadas em classes adequadas, resultando em cartas temáticas. As informações espaciais dos solos utilizadas correspondem ao mapa de uso do solo proveniente do Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) do Distrito Federal de 2009.
2. Elaboração dos planos de informação dos fatores analisados: os planos de informação com os dados iniciais foram reclassificados em subfatores, representados em termos de notas mediante o respectivo grau de susceptibilidade à inundação. As classes dos planos de informação iniciais receberam valores de notas que podem variar de 0 (condição menos susceptível) até 10 (mais susceptível), dependendo da influência que representa em relação a ocorrência de enchentes;
3. Modelagem da ameaça de enchente e inundação: estabelecimento da relação de importância entre os fatores presentes na análise (altitude, declividade, uso do solo e tipo de solo), com a disposição destes fatores em uma matriz comparação pareada. Com isso, é possível definir os pesos que deverão ser utilizados em cada fator. A partir

disso, aplica-se a equação 3.1 para a elaboração da matriz de susceptibilidade de inundação.

4. Definição dos níveis de susceptibilidade a inundação: procede-se o fatiamento da grade de susceptibilidade estabelecida na etapa anterior, classificando-a em níveis e obtendo-se uma carta temática como resultado.

3.2.4. ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDES

A análise de estabilidade de talude através do modelo de taludes infinito associado ao método FOSM utiliza cinco arquivos em formato matricial como dados de entrada. Os dados necessários são:

- Declividade do terreno;
- Coesão do solo (c');
- Ângulo de atrito (ϕ');
- Peso específico (γ);
- Altura média da superfície de ruptura potencial (H).

Com base no mapa de solos do Distrito Federal de 2009, determinou-se o tipo de solo da área de estudo escolhida. Os parâmetros de resistência utilizados nas análises são oriundos dos dados de ensaios existentes para a região avaliada.

1. Utiliza-se os parâmetros de resistência do solo c' e ϕ' como variáveis estatísticas para aplicação do método FOSM. Além disso, neste estudo, será adotada a hipótese de que tanto os parâmetros mencionados como o FS devem apresentar distribuições probabilísticas normais.
2. Utilizando as matrizes de entrada, executou-se uma rotina em plataforma Matlab para determinar a PR para cada uma das células componentes da área em forma de matriz de resultados.
3. Com o uso dos softwares SPRING e ArcGIS, os resultados da matriz de probabilidade de ruptura gerada apresentam-se, finalmente, de forma espacial em uma carta que representa a susceptibilidade a ocorrência de movimentos de massa.

A probabilidade de ruptura pode ser definida como a parcela da área a qual se encontra sob a curva unitária da função densidade de probabilidade para o fator de segurança, em relação ao

fator de segurança inferior a unidade (fator de segurança crítico para a estabilidade). A Figura 3.6 representa o esquema de aplicação do método FOSM na definição da probabilidade de ruptura que representa a susceptibilidade de escorregamentos.

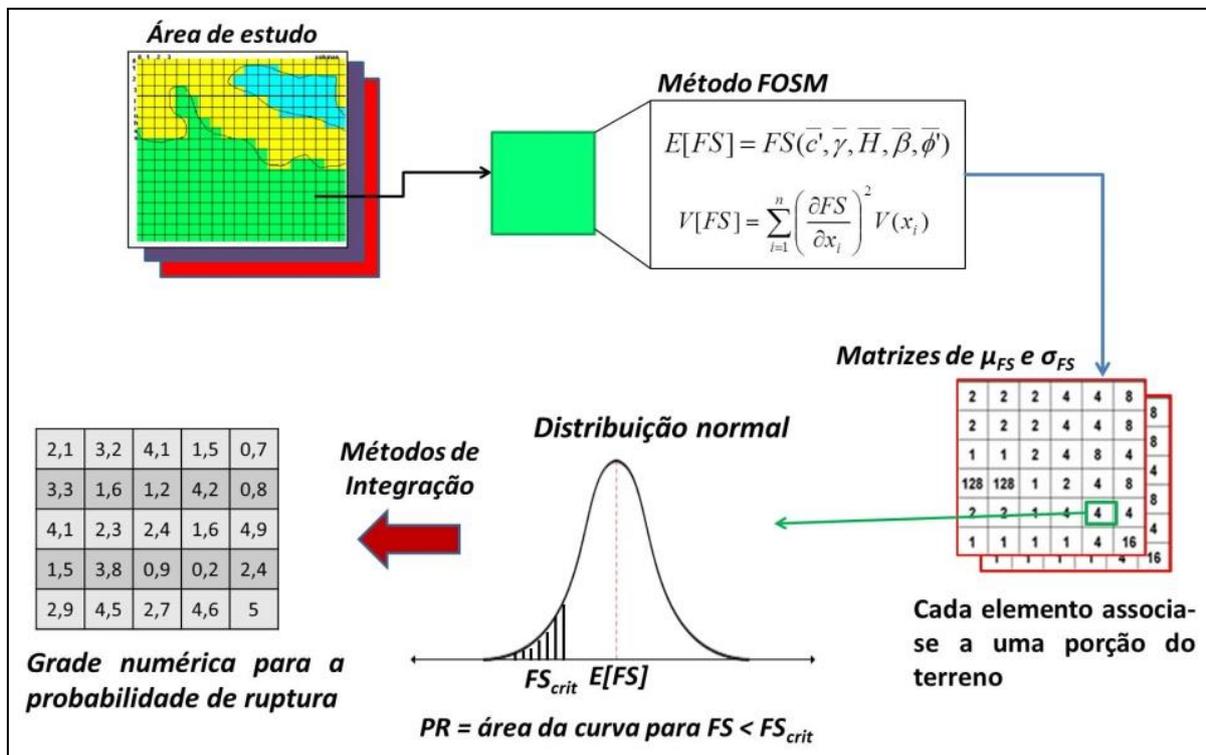


Figura 3.6. Cálculo da susceptibilidade em termos de probabilidade de ruptura (modificado de Azevedo, 2015).

3.2.5. DEFINIÇÃO DAS ÁREAS DE PROTEÇÃO PERMANENTE

No sentido de contemplar os critérios legais existentes para a delimitação das áreas de preservação permanente que possam se enquadrar nas características da área de estudo, foram efetuados os procedimentos descritos a seguir com o auxílio de Sistema de Informação Geográfica:

- Mapeamento de APP de Margens de Rios: O mapeamento das APP de margens de rios é realizado a partir do mapa de distâncias da rede de drenagem, gerado a distância de 30 m (*Buffer*) em ambos os lados da drenagem, quando essa apresenta largura igual ou inferior a 10 m. Aplica-se também o critério de flexibilização de redução para 15 m de faixa não edificável para áreas não ocupadas inseridas em ARINE;
- Mapeamento de APP de Nascentes: O mapeamento das APP de entorno de nascentes será obtido de forma semelhante ao mapeamento das APP de margens de rios. No

entanto, será utilizado, agora, como dado de entrada para a geração do mapa de distância, um plano de informação (PI) contendo somente os pontos correspondentes às nascentes presentes na área de estudo. Desse plano de informação será gerado, de forma análoga ao das margens, um mapa de distância correspondente a 50 m de raio a partir do ponto central, para reproduzir no mapeamento a APP referente à classe de nascentes;

- Mapeamento de APP de Declividade Superior a 45°: Por meio da grade de declividades a ser gerada com base no modelo numérico de terreno da área, é possível obter o plano de informação temático com as áreas cuja declividade apresenta valores iguais ou superiores a 45° ou 100%;

Os dados obtidos individualmente no mapeamento de cada classe de APP foram agrupados em um único plano de informação, com a seguinte disposição das classes: 1° Nascentes, 2° Margens de Rios e Corpos D'Água, 3° Declividade Superior a 45 graus ou 100%. Do agrupamento dessas classes em um único plano de informações, obtém-se uma carta com a sobreposição de áreas, dando origem à carta final de Áreas de Preservação Permanente.

3.2.6. ANÁLISE DA APTIDÃO GEOTÉCNICA DO TERRENO

A metodologia aplicada utiliza lógica fuzzy e lógica booleana como suporte na realização dos procedimentos de análise espacial, visando à geração de um cenário com as áreas aptas para ocupação urbana. O processo metodológico pode ser subdividido nas seguintes etapas:

1. Definição dos critérios: um critério pode ser entendido como uma base capaz de ser medida e avaliada para uma decisão, podendo ser classificado em um fator ou uma restrição. As restrições são áreas que apresentam limitações legais/ambientais, não podendo ser destinadas em condição alguma para determinado uso. Fatores são critérios que determinam níveis de aptidão para certa região. Destacam-se os critérios a serem considerados:
 - Declividade: este fator influencia diretamente o escoamento superficial, influenciando no desencadeamento ou não de feições erosivas (Santos et al., 2003);

- Áreas com susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos e alagamento: aspectos que limitam o uso e ocupação do solo em função do grau de ameaça que estes eventos impõem aos elementos expostos;
 - Restrições ambientais: são as áreas restritivas pelas limitações legais e/ou ambientais à ocupação urbana (áreas de preservação permanente e corpos d'água).
2. Padronização dos critérios para o intervalo numérico de 0 a 1: devem-se padronizar os critérios, uma vez que cada insumo em um dado plano de informação possui uma unidade temática ou intervalo numérico diferente. Cada unidade temática ou grade numérica deverá ser ponderada com base na adequação à ocupação urbana;
 3. Cruzamento dos critérios: a combinação das informações consistirá em três etapas:
 - Cruzamento das informações sobre o meio físico pelo uso da técnica AHP;
 - Cruzamento das informações restritivas;
 - Obtenção do plano de informação de aptidão à ocupação por meio da conjugação das informações resultantes dos fatores ponderados e das informações das restrições ambientais através de operadores booleanos.

4. RESULTADOS E ANÁLISES DE RESULTADOS

4.1. NÍVEL FREÁTICO

Para a realização destas análises, foram utilizadas as leituras piezométricas fornecidas pela TERRACAP correspondentes até a 8ª campanha de medições, compreendidas entre o período de junho de 2016 a outubro de 2016, com 4 medições semanais em junho e 4 medições mensais nos meses seguintes, dentro da referida área de estudo. A localização dos piezômetros utilizados encontra-se na Figura 4.1.

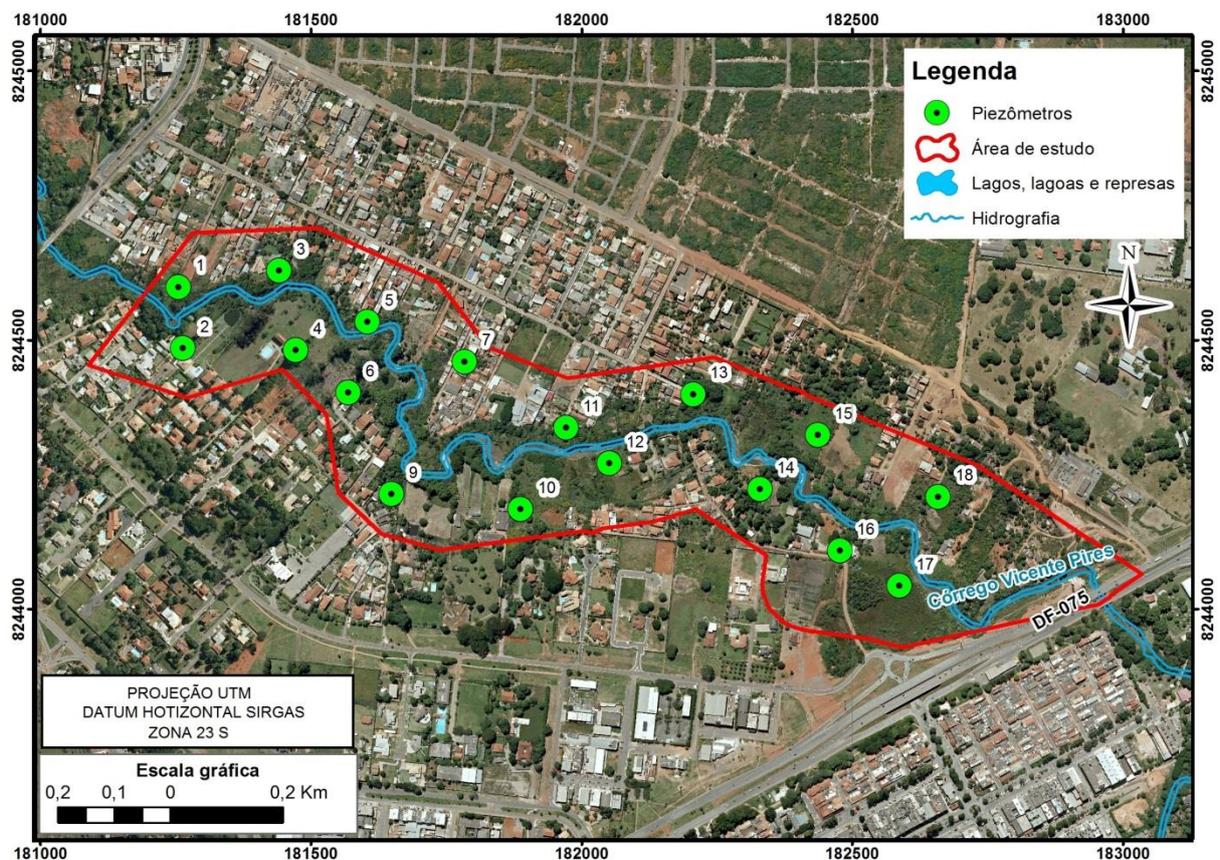


Figura 4.1. Localização dos piezômetros

Com o método Z score foi possível realizar a separação dos dados considerados anômalos presentes na série de dados piezométricos. Os dados do piezômetro 08 foram desconsiderados porque este piezômetro foi depredado e foi realizada apenas uma medição.

Foram simuladas três superfícies freáticas: considerando-se os valores médios das séries obtidos para cada piezômetro, a média acrescida de dois desvios padrões (correspondente à

situação do freático mais profundo) e a média subtraída em dois desvios padrões (correspondente a situação do freático mais raso), excluindo-se devidamente as medidas consideradas anômalas, citadas acima. A Tabela 4.11 define as médias e os desvios padrões gerados para cada ponto.

Tabela 4.1. Médias das séries piezométricas com a exclusão dos dados anômalos.

Piezômetro	Altimetria	X	Y	Média (m)	Desvio padrão (m)
1	1050,438	180605	8244259	1,192857	0,215152
2	1027,06	181811	8244317	1,798333	0,132426
3	1018,626	182345	8244084	1,96625	0,152591
4	1021,985	182463	8244192	2,76625	0,298038
5	1018,785	182648	8244070	2,69125	0,317015
6	1029,894	181302	8244429	1,1575	0,145459
7	1029,669	181306	8244350	1,415	0,175214
9	1026,668	181515	8244323	1,805	0,498698
10	1024,555	181689	8244379	2,148	0,131415
11	1024,404	181690	8244096	1,674	0,201072
12	1022,064	181863	8244087	1,455	0,227083
13	1020,239	182010	8244168	1,3	0,269938
14	1020,399	182230	8244221	2,228	0,239937

Piezômetro	Altimetria	X	Y	Média (m)	Desvio padrão (m)
15	1019,291	182385	8243965	1,052	0,262145
16	1017,603	182770	8243989	1,676	0,288496
17	1020,88	182038	8244111	1,7025	0,075884
18	1017,614	182580	8243982	2,42	0,135647

Essas informações foram importadas para as plataformas de sistemas de informação geográfica SPRING e QGIS. Obtiveram-se, também, as elevações dos piezômetros a partir do MNT da área de estudo com pixels de 0,5 m. A estas elevações, foram subtraídas as profundidades médias e as combinações entre a média e os desvios padrões dos níveis freáticos, obtendo-se, assim, as cotas da superfície piezométrica médias e extremas nos pontos. Estes valores de cotas do nível freático foram utilizados no processo de interpolação espacial definidos na metodologia.

Os resultados das grades numéricas oriundas do processo de interpolação foram fatiados em quatro classes temáticas, variando de 990 m a 1051 m para o nível freático. Verificam-se as cartas temáticas resultantes da classificação para os níveis piezométricos nas Figura 4.2, Figura 4.3 e Figura 4.4.

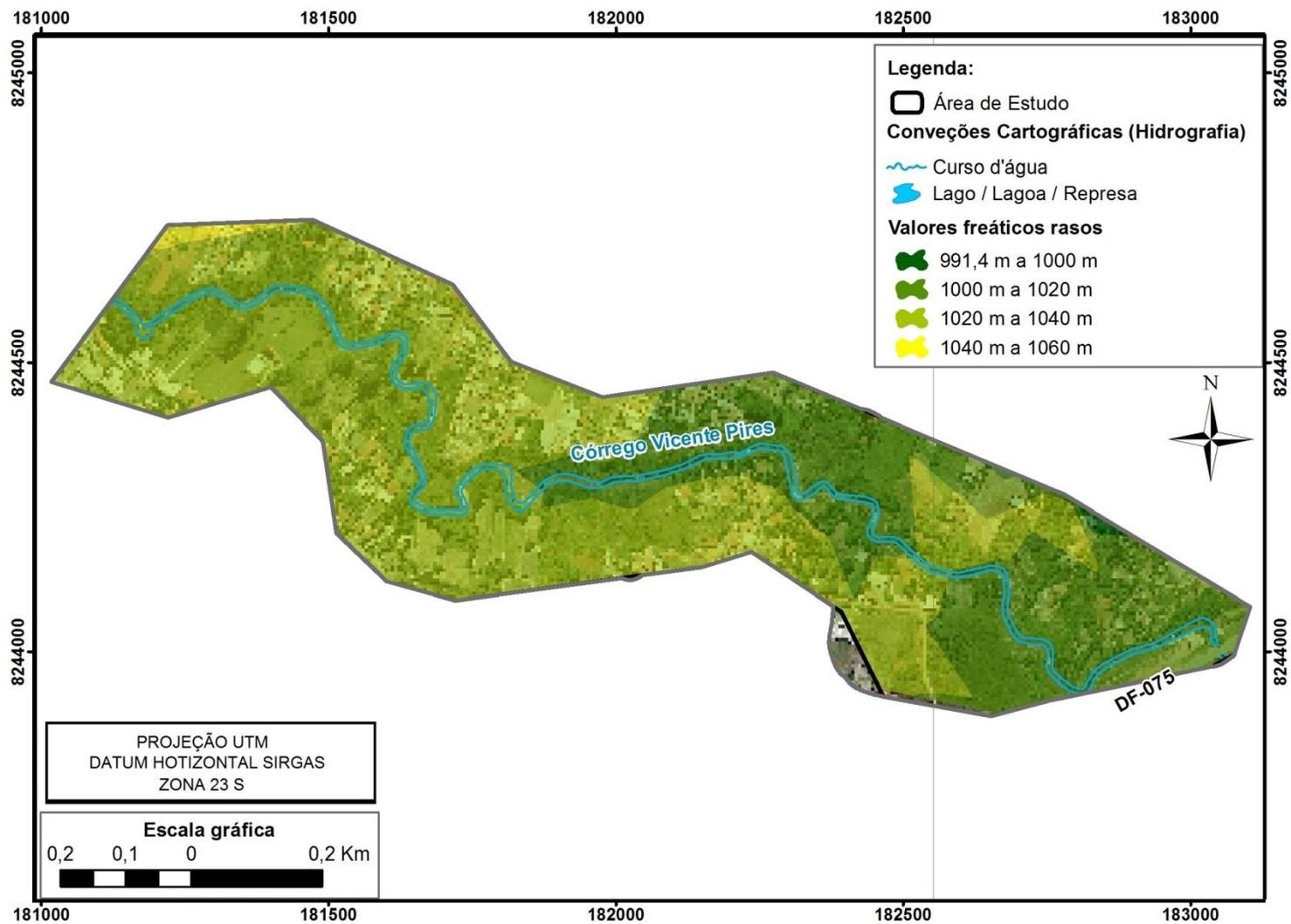


Figura 4.2. Carta Piezométrica pelo uso dos valores freáticos rasos.

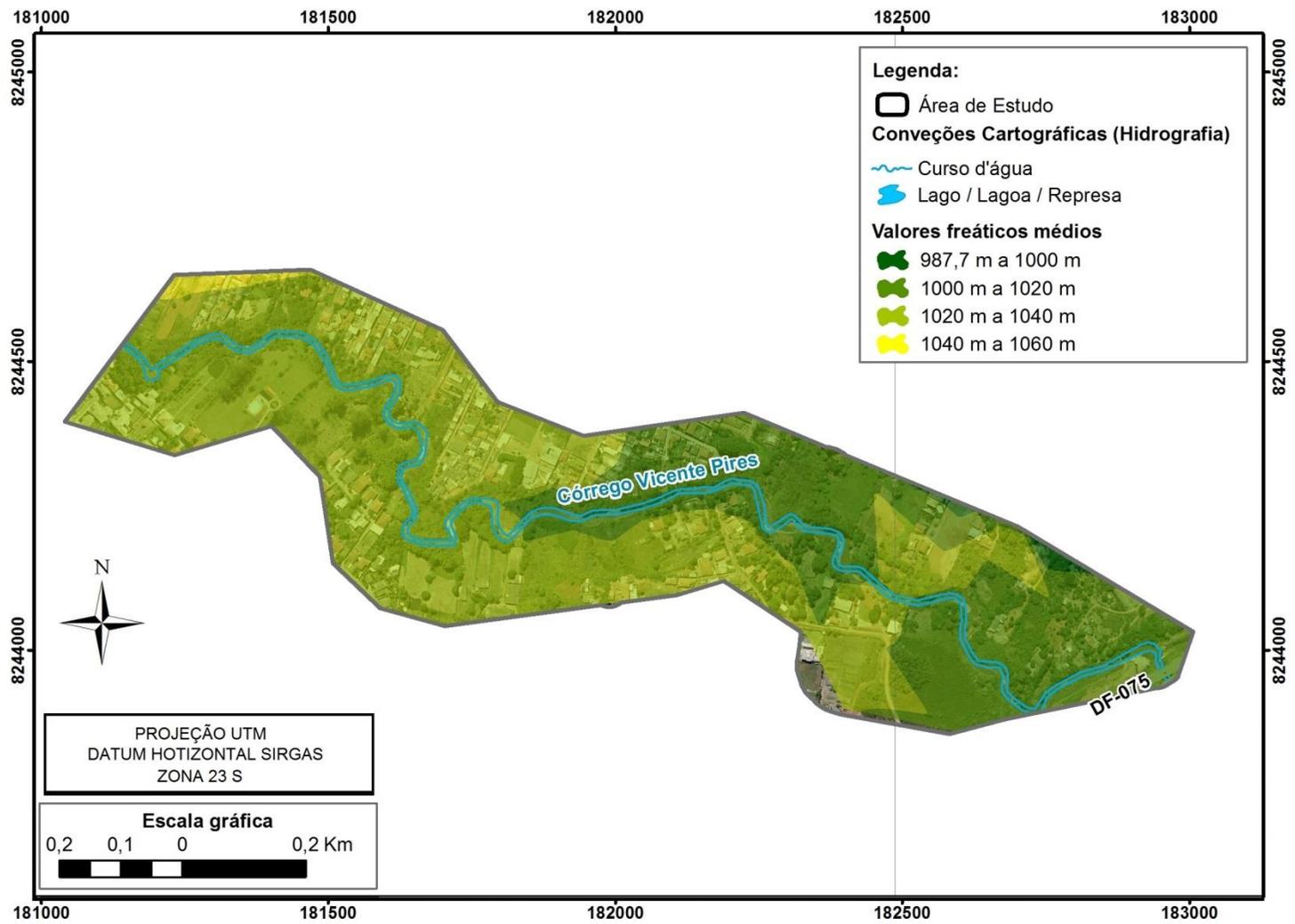


Figura 4.3. Carta Piezométrica pelo uso dos valores freáticos médios.

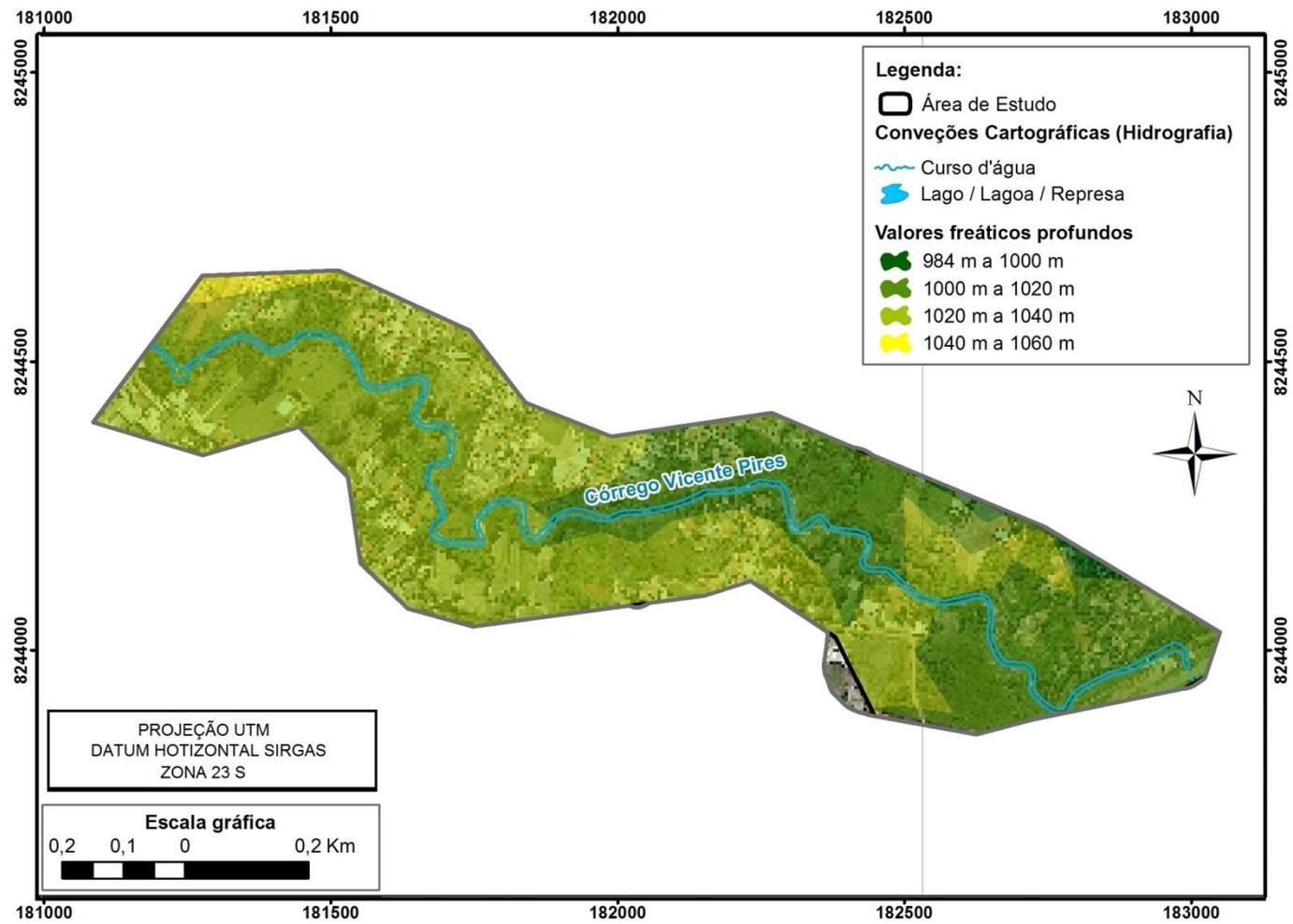


Figura 4.4. Carta Piezométrica pelo uso dos valores freáticos profundos.

4.2.ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À INUNDAÇÃO

A carta de susceptibilidade de áreas com tendência a ocorrência de inundação foi gerada pela categorização da grade numérica da diferença entre a topografia e a configuração do nível freático com as medidas médias. Considerou-se, para a geração dos resultados, o princípio de que quanto mais próximo o freático está da superfície, o solos se encontra em condições próximas à saturação. Valores altos da diferença identificam regiões com lençol freático profundo, ou seja, áreas bem drenadas. Para esse critério, foram analisadas imagens aéreas e de satélite para verificar a localização dos rios e áreas com água e o valor da diferença entre os planos de informação, além de visita em campo para verificação destes limites. A classificação foi realizada com base em três níveis de susceptibilidade:

1. Nível baixo: diferença entre topografia e freático superior a 0,5 m (solos bem drenados);
2. Nível médio: diferença entre topografia e freático entre 0 e 0,5 m (solos moderadamente drenados);
3. Nível alto: diferença entre topografia e freático negativa (solos mal drenados);

A Figura 4.5 mostra a Carta de Susceptibilidade de Inundação em relação a esta abordagem.

É possível notar que as áreas com maiores susceptibilidades à ocorrência de inundação estão em sua maior parte restritas ao curso propriamente dito do córrego e ao longo das drenagens principais, uma vez que as maiores declividades das margens mostram-se como uma barreira à possibilidade de transbordamentos. Nas áreas fora do curso principal em que há alguma propensão nota-se que, em virtude da conformação topográfica desta área, a qual apresenta baixas declividades, define-se uma planície mais susceptível a eventos de acúmulo de água.

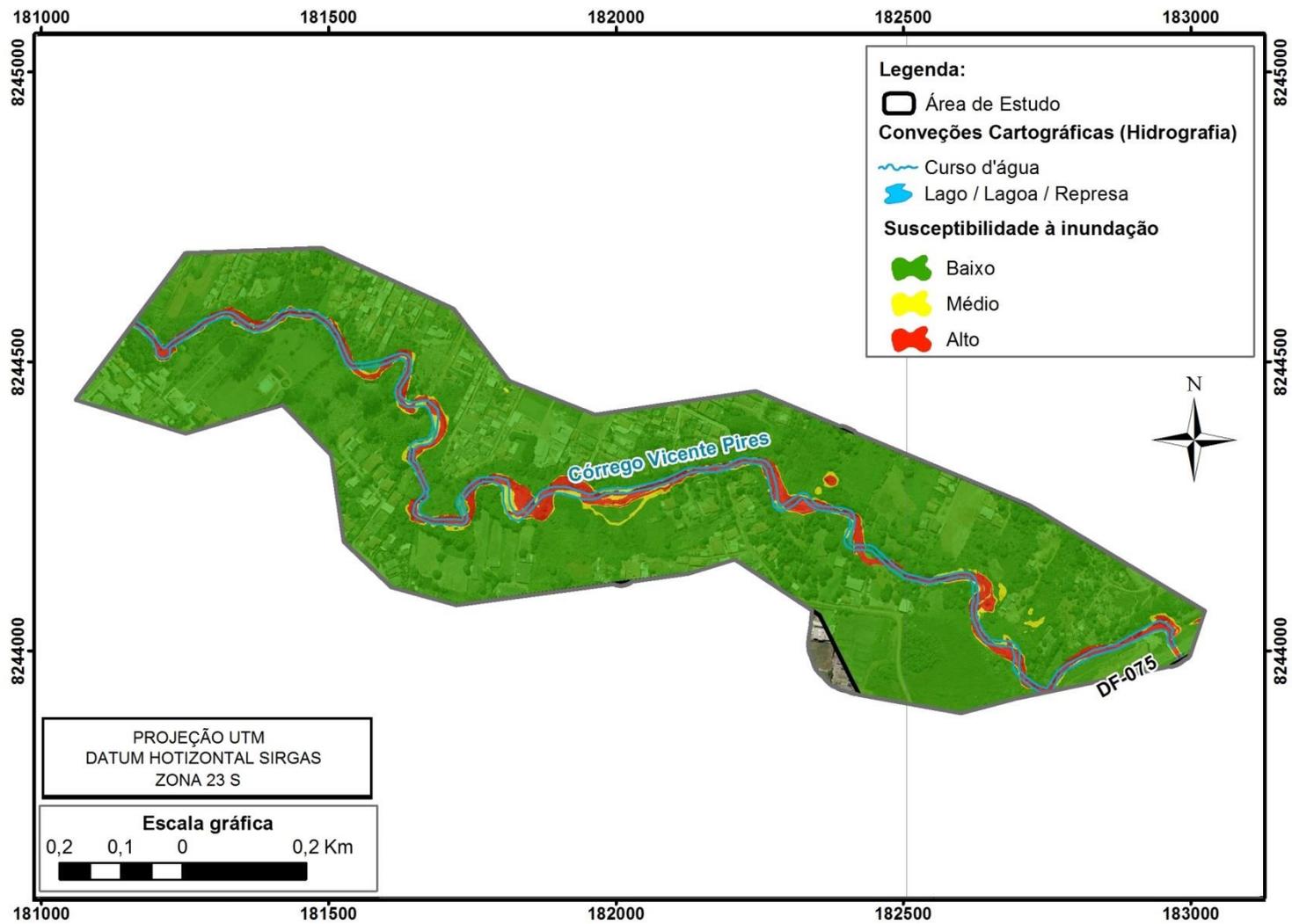


Figura 4.5. Carta de susceptibilidade a inundação com base na diferença entre topografia e nível freático.

4.3.ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

4.3.1. DECLIVIDADE

Inicialmente, destaca-se a Carta de Declividade estabelecida para a área em estudo. A partir do modelo numérico de terreno para a região derivou-se a grade de declividades pelo uso de um software baseado em sistemas de informação geográfica (SIG).

De acordo com os critérios legais existentes para o estabelecimento das APPs referentes à declividade, observa-se que aquele correspondente às regiões com altitudes superiores a 1.800m não é atendido, pois a cota máxima alcançada, conforme o MNT, é de 1051m.

O critério relativo a encostas com inclinações superiores a 45°, não foi contemplado para a avaliação da APP. Com base na grade de declividades e em ortofotos, observou-se que a presença de áreas que satisfazem esse critério são correspondentes a aterros, não se referindo a encostas naturais e, portanto, não caracterizando APP's, conforme pode ser visto na Figura 4.6.

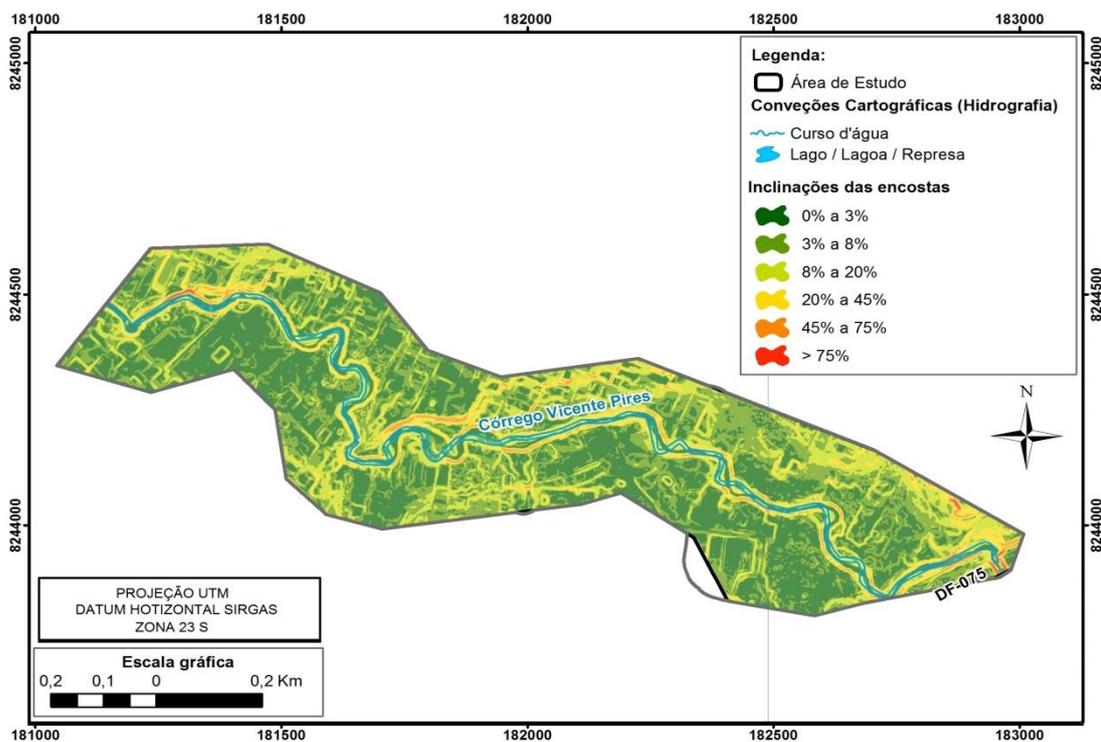


Figura 4.6. Carta de declividade em porcentagem.

4.3.2. GEOLOGIA

Para análise geológica e geomorfológica, foram utilizados os diagnósticos de meio físico dos Estudo de Impacto Ambiental do Vicente Pires (GEO LÓGICA, 2009) e Estudo de Impacto Ambiental de Arniquireiras (TOPOCART, 2013).

Na área de estudo, ocorre a unidade geológica denominada informalmente por letra-código A. As principais características desta unidade são descritas a seguir:

- Unidade A: Unidade representativa da área de estudo, englobando de 100% do Setor. É constituída por ardósias cinza esverdeadas com cor de alteração vermelha característica. Neste litotipo são observadas duas foliações representadas por clivagens ardosianas penetrativas.

4.3.3. GEOMORFOLOGIA

A área do Distrito Federal é constituída por extensos níveis planos a suavemente ondulados como chapadas, por níveis inclinados, constituídos por pediplanos, pedimentos e vales dissecados formados pela drenagem dos principais rios, como Paranoá, São Bartolomeu, Preto e Descoberto.

Segundo Pinto (1987) a área que abrange o estudo em questão encontra-se inserida no compartimento geomorfológico de Áreas de planícies aluviais alveolares e à Região de dissecação Intermediária.

Considerando-se que em épocas de cheia o canal fluvial extravasa para além do Córrego, por serem terrenos planos e baixos junto ao curso de rios, a região de planícies aluviais está sujeita à inundação, observação que pode ser constatada a partir dos graus de maior susceptibilidade à inundação e que, inclusive, compreende a área de veredas.

4.3.4. CORPOS HÍDRICOS

Com relação às APP de corpos hídricos, utilizou-se os seguintes critérios:

1. Faixas marginais dos cursos d'água (30 m para canais com largura inferior a 10 m), estabelecidas com base na carta de drenagem apresentada;

2. Entorno das nascentes ou de um olho d'água perene (raio mínimo de 50 m), obtidas do trabalho de campo;
3. Faixa marginal de veredas em projeção horizontal, com largura mínima de 50 (cinquenta) metros, a partir do espaço permanentemente brejoso e encharcado (veredas).

Dentro da determinação das APP de faixas marginais dos cursos d'água, considerou-se para definição, as áreas de regularização de interesse específico cujas larguras são reduzidas para 15 m nessas regiões.

Desenvolveu-se a metodologia descrita com o uso de MNT com resolução espacial de 5 m. Obtiveram-se as configurações de vereda relativas à diferença entre a topografia e o freático médio, associadas ao índice topográfico de umidade, presentes na figura seguinte. Foram consideradas áreas de veredas aquelas regiões que apresentaram valores de nível freático coincidentes com a altimetria do terreno.

Destaca-se que a drenagem utilizada para a determinação das APP's relativas às faixas marginais de cursos d'água e nascentes foi estabelecida a partir de levantamento promovido pela empresa TOPOCART no Relatório de Impacto Ambiental do Bernardo Sayão (2013).

A carta gerada considerou todos os fatores expostos para a síntese da delimitação das áreas de preservação permanente e encontra-se apresentada na Figura 4.7

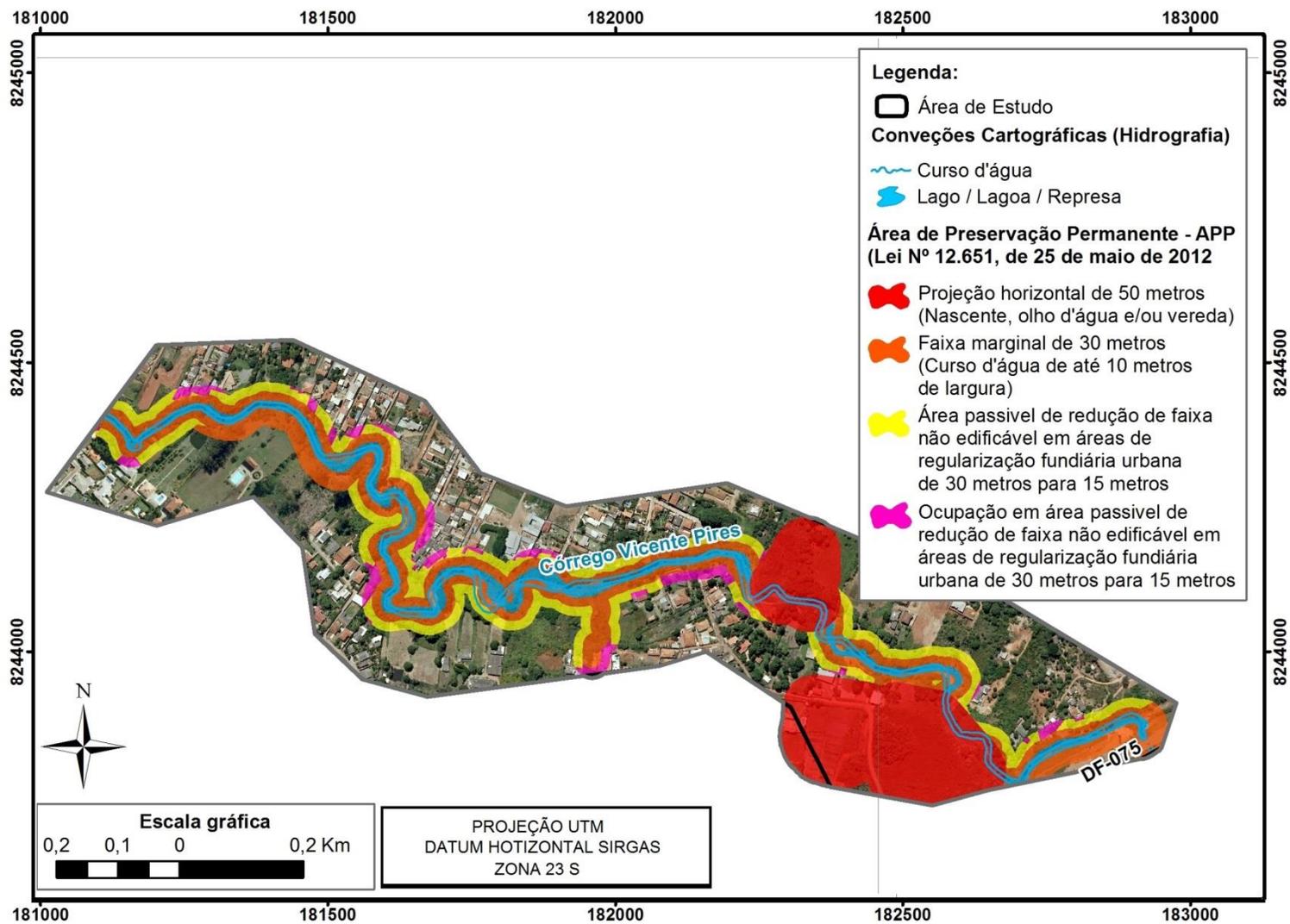


Figura 4.7. Carta com as Áreas de Preservação Permanente

4.4. ANÁLISE DE SUSCEPTIBILIDADE A OCORRÊNCIA DE DESLIZAMENTOS

De acordo com o mapa de solos do Distrito Federal (REATTO et al, 2004), observa-se que na área pesquisada encontra-se a presença de quatro tipos de solo: cambissolo, gleissolo háplico, latossolo vermelho e latossolo vermelho amarelo.

Uma vez que parte dos resultados dos ensaios SPT apresentaram espessuras da camada de solo muito espessas, chegando a camadas superiores a 10 m de profundidade, e como o modelo de estabilidade utilizado considera como hipótese a ocorrência de rupturas superficiais, optou-se por restringir a profundidade da superfície de ruptura conforme o trabalho de Azevedo et al. (2013). As espessuras empregadas na análise estão descritas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2. Espessura das camadas de solo usadas na análise de ocorrência de deslizamentos (modificado de Azevedo et al., 2013).

Solo	Espessura (m)
Latossolo vermelho	3
Latossolo vermelho amarelo	3
Gleissolo háplico	4
Cambissolo háplico	0,7

Em virtude de todos os pontos amostrados encontrarem-se sob o domínio de um mesmo tipo de solo, as demais variáveis envolvidas no cálculo da estabilidade de taludes foram consideradas em seus valores médios, incorporando as devidas medidas de dispersão para o caso daquelas envolvidas na resistência ao cisalhamento do solo.

Os parâmetros de resistência utilizados nas análises são oriundos dos ensaios de cisalhamento direto com os corpos de prova saturados em condições drenadas. Desta forma, simulam-se as condições mais desfavoráveis em termos de resistência das encostas. Foram usados os valores médios das variáveis, incorporando as devidas medidas de dispersão para o caso daquelas envolvidas na resistência ao cisalhamento do solo.

A medida adotada para o peso específico do solo foi definida pela média dos valores dos pesos específicos dos corpos de prova no início do ensaio de cisalhamento direto, conforme

resultado descrito na estatística referente aos índices físicos. A Tabela 4.33 resume as medidas das variáveis empregadas no método probabilístico de estabilidade de taludes.

Tabela 4.3. Valores empregados na análise de estabilidade pelo método FOSM.

Parâmetro	Média	Coefficiente de variação (%)
Ângulo de atrito	31°	4,8
Coesão	8,3 kPa	68,4
Peso específico	13,3 kN/m ³	-

Os resultados de PR encontrados foram classificados em sete faixas de categorias, apresentando valores que variaram de 0% a 60%. Os valores mais altos se concentram na parte central da área de estudo.

Efetuando-se as medidas de classes para o plano de informação da probabilidade de ruptura, foi possível verificar que a maior área classificada encontra-se associada à classe com menor porcentagem de PR. A Tabela 4.4 define a distribuição da área pelas diversas classes de susceptibilidade de ocorrência de deslizamentos.

Tabela 4.4. Medidas de classe para susceptibilidade de movimentos de massa.

Classe de PR	Porcentagem da área total
< 1%	96,763
1% a 2%	2,377
2% a 5%	0,566
5% a 10%	0,187
10% a 20%	0,186
20% a 50%	0,098
> 50%	0,009

Na Figura 4.8, é apresentada a carta de probabilidade de ruptura para a área analisada a qual representa os níveis de susceptibilidade a ocorrência de movimentos de massa.

Foram escolhidos dois pontos em que os valores de PR estão entre 20 % e 50 % para realização de visita em campo e averiguação da situação encontrada no modelo aplicada ao real. As Figuras 4.9 e 4.10 contém fotos das duas localizações em que é possível observar a ocorrência de erosões nas margens do córrego e a vegetação inclinada.

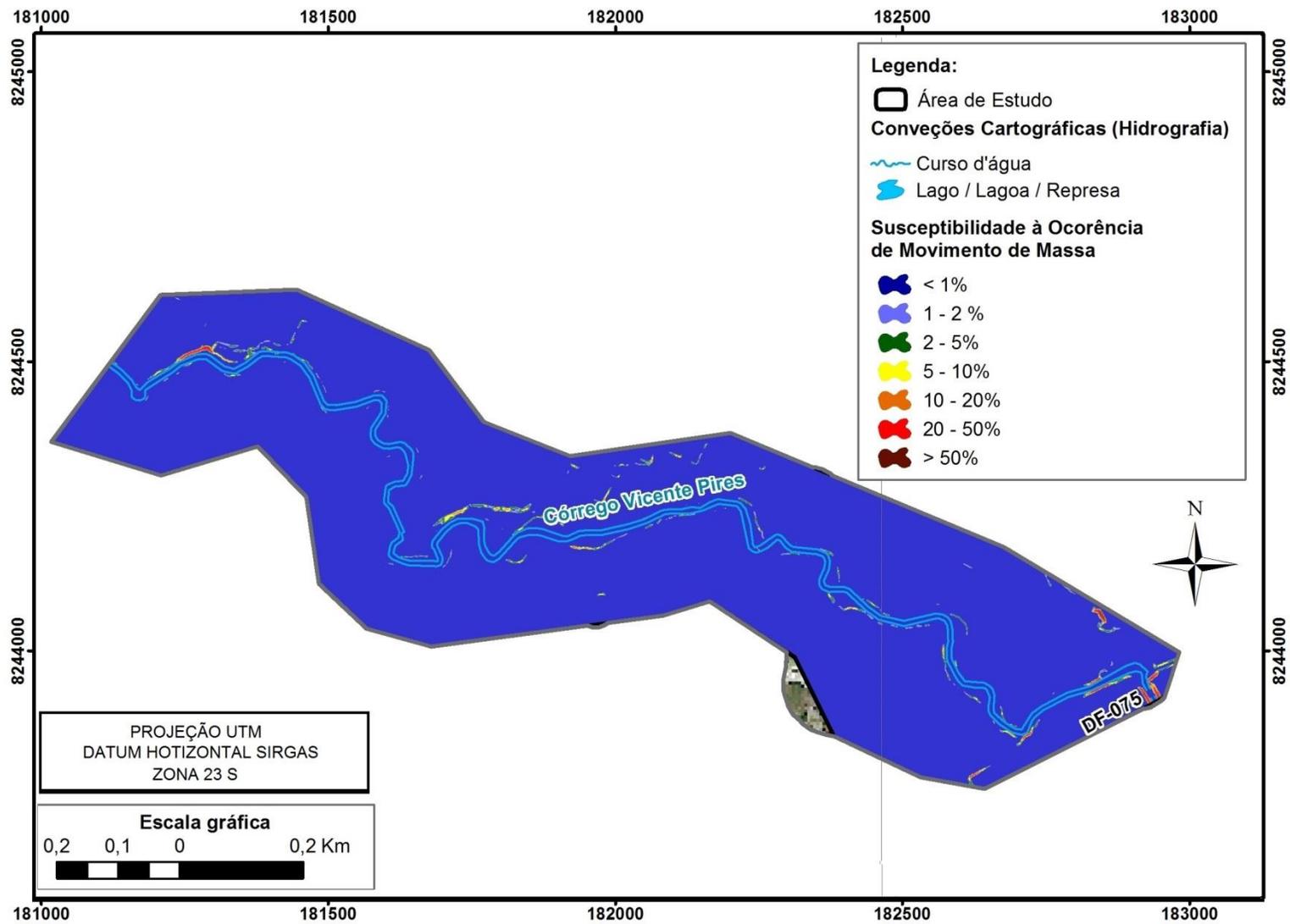


Figura 4.8. Carta de susceptibilidade à ocorrência de movimentos de massa.

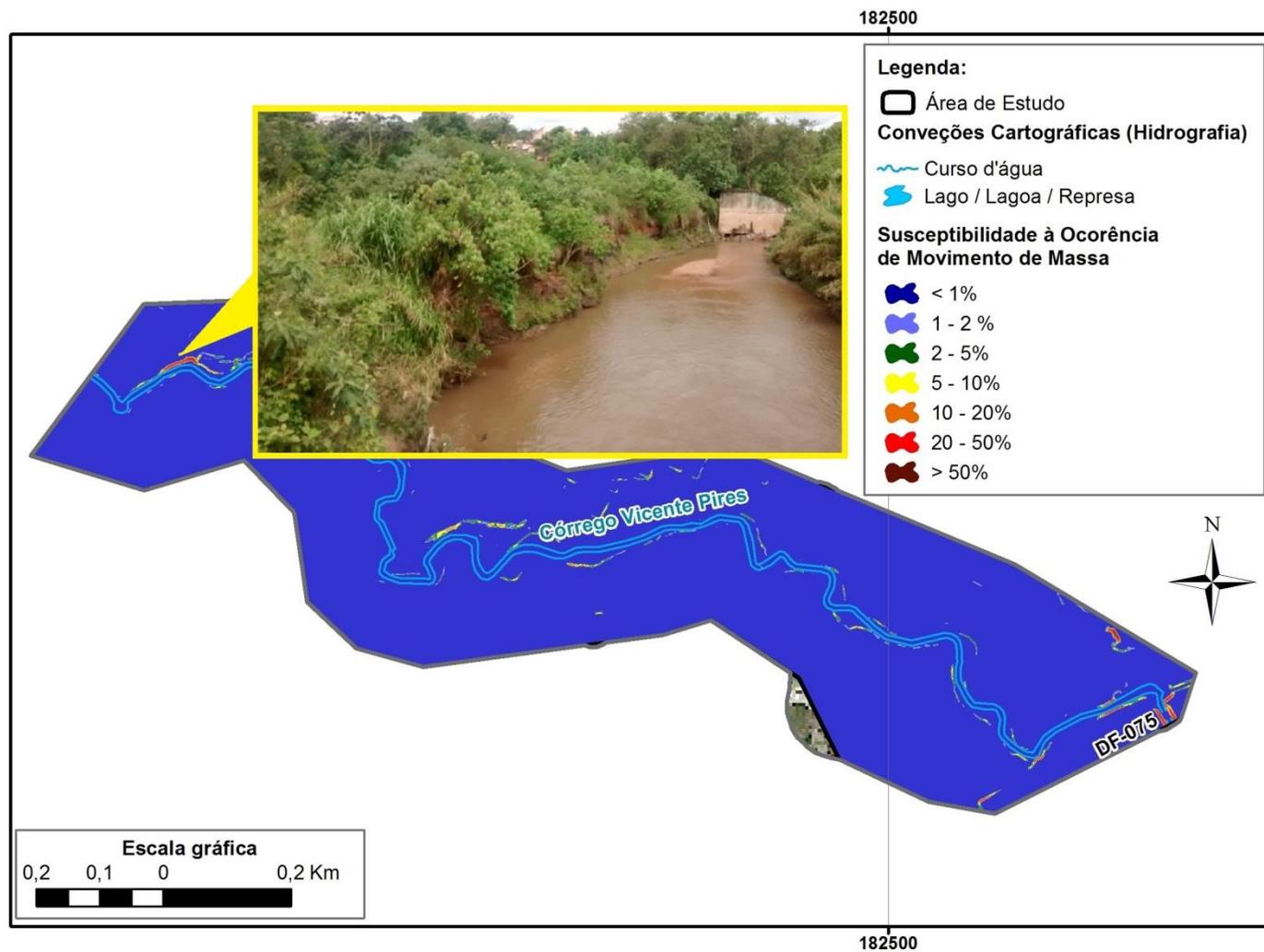


Figura 4.9. Constatação de campo de PR elevado. Vegetação da margem tombando para o córrego.

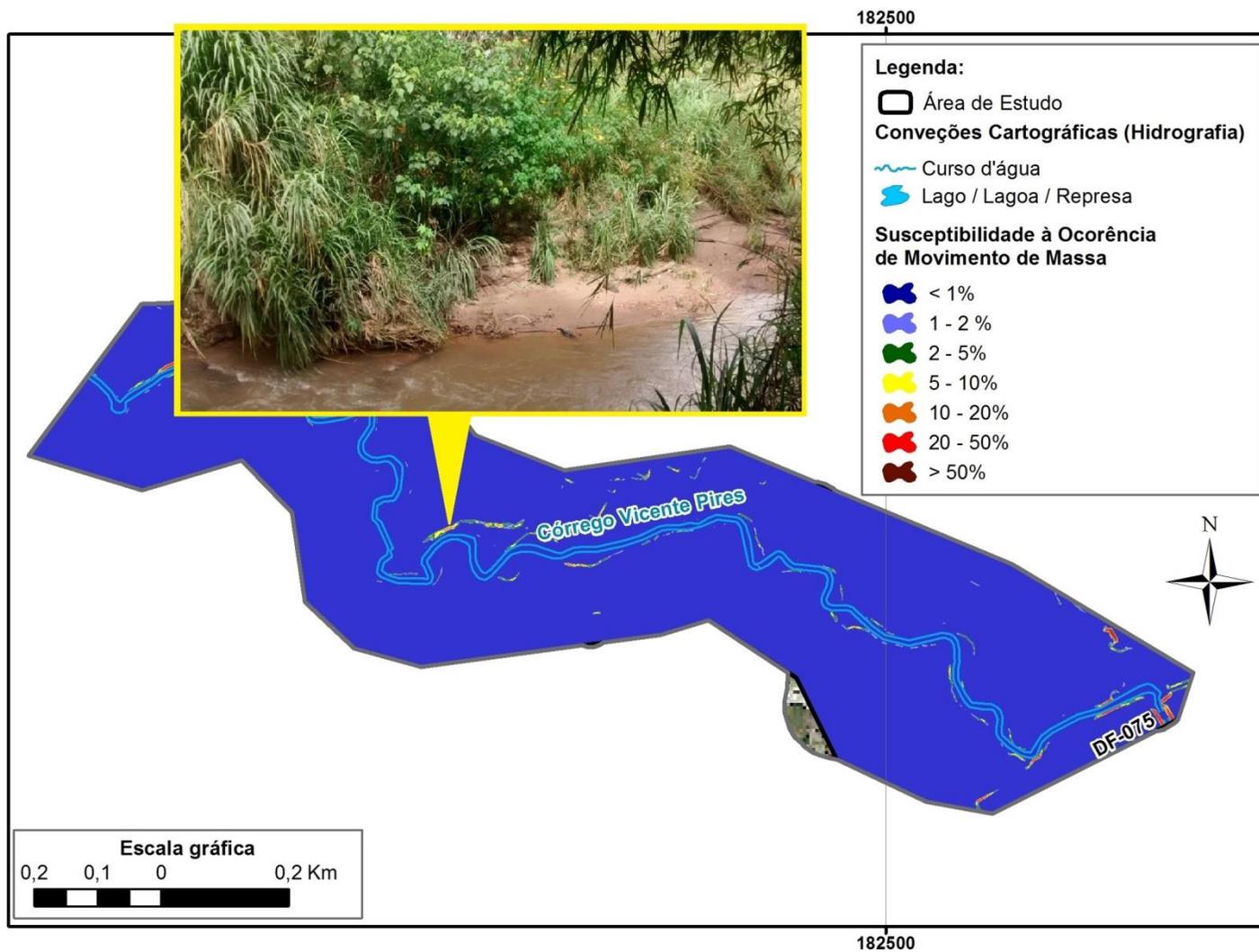


Figura 4.10. Constatação de campo de PR elevado. Erosões na margem do córrego

4.5. ANÁLISE DE APTIDÃO GEOTÉCNICA À OCUPAÇÃO URBANA

Uma vez estabelecidos os planos de informação para a declividade, probabilidade de ruptura, susceptibilidade à inundação, critérios da REURB e APP, as grades obtidas serviram de insumos para a criação da carta de aptidão geotécnica.

Os planos de informação no formato numérico relativos aos pesos de cada atributo utilizado na AHP para a aptidão geotécnica foram conseguidos a partir da execução de uma rotina computacional programada na linguagem LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico). Esta rotina atua no sentido de aplicar funções fuzzy e critérios às grades originais dos fatores envolvidos para atribuir a ponderação de acordo com a importância à ocupação urbana.

Os pesos atribuídos para o fator referente à declividade foram definidos com base no trabalho de Nascimento et al. (2009), conforme a Tabela 4.5.

Tabela 4.5. Pesos utilizados por faixa para a declividade (Nascimento et al., 2009).

Declividade (D)	Peso (0-1)	Aptidão à ocupação	Comentários
$0\% \leq D \leq 2\%$	0,8	Média	Possibilidades de inundações e dificuldades para implantação de rede de drenagem pluvial e esgotamento sanitário
$2\% < D \leq 5\%$	1	Alta	Apta para ocupação
$5\% < D \leq 20\%$	1 a 0 (variação contínua do peso)	Apta a Inapta	De apta a inapta – suscetibilidade à erosão
$D > 20\%$	0	Inapta	Inapta para ocupação

Segundo Nascimento et al. (2009), utilizou-se uma função linear decrescente fuzzy $f(D) = (-0,06666D) + 1,33333$ para os valores de declividade compreendidos no intervalo acima de 5% e menor ou igual a 20%, onde D é o valor da declividade. Isso possibilitou a gradação das declividades com valores entre 1 e 0 (valor máximo 1 quando o valor da declividade é 5%, decrescendo até chegar a zero quando o valor da declividade chega a valores superiores a 20%).

Para a configuração das probabilidades de ruptura, as faixas de peso foram definidas com base em critérios de áreas da distribuição normal padronizada. O intervalo para as regiões aptas à ocupação corresponde às PR menores ou iguais a área a esquerda da distribuição normal definida pelo valor de variável aleatória padronizada Z igual a 2 (dois desvios padrões a partir da média). Este intervalo corresponde a probabilidades de ruptura menores ou iguais a 2,3%. Caso as PR sejam superiores ou iguais a 30,85%, o que caracteriza um valor de Z igual ou menor a 0,5, estes locais são inaptos. A situação intermediária, para PR entre 2,3% e 30,85%, é descrita pela seguinte função linear fuzzy decrescente: $g(PR) = (-3,5026PR) + 1,0806$ (valores de PR iguais a 2,3% estabelecem aptidão máxima para áreas desse tipo, enquanto que PR correspondentes a 30,85% definem áreas inaptas). A Tabela 4.67 expressa os intervalos usados para a construção da grade de pesos para a PR e a descrição de aptidão a eles associados.

Tabela 4.6. Pesos utilizados por faixa para as probabilidades de ruptura.

PR	Peso (0-1)	Aptidão à ocupação	Comentários
$0\% \leq PR \leq 2,3\%$	1	Alta	Área a esquerda daquela definida pela variável Z igual a 2
$2,3\% < PR \leq 30,85\%$	1 a 0 (variação contínua do peso)	Apta a Inapta	Valores intermediários de PR
$PR > 30,85\%$	0	Inapta	PR determinadas por distâncias menores ou iguais ao desvio padrão de 0,5 (variável normal padronizada Z)

Reclassificou-se o plano de informação temático correspondente a susceptibilidade de inundação conforme os pesos indicados na tabela abaixo.

Tabela 4.7. Pesos utilizados por faixa para as probabilidades de ruptura.

Susceptibilidade à inundação	Peso	Aptidão à ocupação	Comentários
Baixa	0,9	Alta	Freático profundo
Média	0,5	Média	Freático a médias profundidades
Alta	0	Inapta	Freático superficial

Após a modelagem de cada fator com a definição da ponderação no formato numérico, passou-se para a atribuição dos seus pesos usando a técnica de análise multicriterial AHP. A matriz de comparação pareada, de acordo com a importância relativa entre pares de fatores, foi realizada mediante o módulo específico “Suporte à Decisão (AHP)” presente no software SPRING. Os fatores foram comparados, dois a dois, utilizando-se como referência a escala de ponderação definida por Saaty (1977), que permite a graduação em nove níveis (igual, um pouco melhor, algo melhor, moderadamente melhor, melhor, bem melhor, muito melhor, criticamente melhor e absolutamente melhor). Com base nestes níveis hierárquicos, os fatores foram comparados e julgados conforme a sua importância relativa diante a ocupação urbana. A Tabela 4.89 traz a matriz de comparação pareada entre fatores.

Tabela 4.8. Matriz de comparação pareada entre fatores.

Fatores	PR	Declividade	Susceptibilidade à inundação
PR	1	3	1/2
Declividade	1/3	1	1/5
Susceptibilidade à inundação	2	5	1

Os pesos calculados para cada fator foram:

- Probabilidade de ruptura = 0,309;
- Declividade = 0,109;
- Susceptibilidade à inundação = 0,582;

Os fatores foram combinados mediante a soma ponderada, usando-se a rotina fornecida pela linguagem LEGAL, conforme a expressão abaixo:

$$Aptid = 0,309 * PR + 0,109 * Decliv + 0,582 * Inunda \quad (4.1)$$

onde *Aptid* corresponde ao valor da aptidão a ocupação, *PR* refere-se ao peso por faixas da probabilidade de ruptura, *Decliv* é o peso por faixa de declividade e *Inunda* está relacionado ao pelo por faixa de classes de susceptibilidade de ocorrência de inundação.

A Carta da Aptidão Física à Ocupação Urbana foi obtido por meio do cruzamento entre o mapa ponderado dos fatores e o mapa das restrições ambientais. As informações das restrições ambientais funcionaram como uma máscara, mantendo seu critério de restrição, ou seja, as áreas em que o valor das restrições era igual a 0 permanecem nulas, e as demais áreas

em que o valor era igual a 1, continuam com os valores da grade advindos do mapa ponderado, realçando ou diminuindo a aptidão da área de forma contínua.

A grade numérica resultante da análise foi fatiada e transformada em uma representação temática, considerando-se cinco classes representativas que traduzem os aspectos de capacidade e restrição quanto à ocupação urbana do meio físico, conforme os critérios propostos por Nascimento et al. (2009). A definição das classes e os respectivos intervalos utilizados no estabelecimento das mesmas encontram-se listados na Tabela 4.9.

Tabela 4.9. Intervalos para o fatiamento (Nascimento et al., 2009).

Classes Qualificadoras	Intervalos para o fatiamento
Inapta	0 – 0,1
Escassa aptidão	0,1 – 0,4
Baixa aptidão	0,4 – 0,7
Média aptidão	0,7 – 0,9
Apta	0,9 – 1

5. CARTA DE APTIDÃO GEOTÉCNICA PARA FINS DE OCUPAÇÃO URBANA DO SETOR HABITACIONAL BERNARDO SAYÃO.

Com o objetivo de definição das poligonais que distinguem as áreas aptas à ocupação das não aptas, o mecanismo utilizado correspondeu à reclassificação da carta de aptidão alcançada, efetuando-se a união das categorias inicialmente propostas e considerando os critérios da regularização fundiária urbana para áreas de preservação permanente para atendimento das limitações legais vigentes.

As áreas consideradas “aptas” e com “média aptidão” foram usadas para delimitar a poligonal das regiões passíveis de urbanização, uma vez que representam um nível aceitável de ameaça, não possuindo restrições do ponto de vista legal e dos aspectos estudados. Dentre as áreas classificadas satisfatoriamente, aquelas já ocupadas (mediante os dados do urbanismo) podem ser regularizadas de acordo com o Reurb e as áreas ainda sem intervenção apresentam possibilidade de urbanização futura.

As classes “inaptas”, com “baixa” e “escassa” aptidão definiram as áreas inaptas à ocupação em virtude dos ameaças apresentados. As classes de “baixa e escassa” aptidão foram incorporadas na composição das regiões a serem evitadas para a ocupação, uma vez que representam um grau de ameaça pertinente com base nos fatores condicionantes utilizados nas suas definições. Isto é comprovado ao se realizar a operação de tabulação cruzada entre a carta de aptidão e os demais planos de informação que figuraram nas suas composições.

O cruzamento com o plano de informação relativo à PR informa que a classe de baixa aptidão possui áreas que atingem valores superiores a 50% de PR, enquanto que o nível de escassa aptidão esse alcance chega a 50%. Essas medidas de probabilidade de ruptura configuram-se com níveis baixos de aptidão. Para a declividade, as áreas aptas associam-se exclusivamente a valores de inclinação de taludes inferiores a 20%. Baixa aptidão, escassa e áreas inaptas possuem regiões definidas por declividades superiores a 75%. Isso também evidencia uma restrição a ocupação destas áreas e justifica a inclusão destas duas faixas na delimitação das áreas inaptas a urbanização.

Observa-se que os principais aspectos relacionados à situações de ameaça geotécnica encontram-se, como o caso de áreas susceptíveis a erosão e ocorrência de inundações, ao longo do córrego Vicente Pires. Desta forma, juntamente com os critérios definidos no artigo

nº 65 do Código Florestal (Brasil, 2012), a poligonal estabelecida foi dividida em cinco classificações:

1. Área intangível: Compreende as áreas delimitadas como:
 - Cursos d'água e nascentes com suas respectivas APP¹, salvo a faixa de APP de curso d'água entre 15 à 30 metros na áreas inseridas na ARINE;
 - Áreas alagadas que compreendem as veredas e sem a inclusão do buffer da APP de 50 metros;
 - áreas com elevada susceptibilidade à movimentação de massa e ocorrência de inundação.
2. Área em APP regularizável: Refere-se às áreas ocupadas e/ou edificadas em interseção e que não apresentaram elevado grau de susceptibilidade à movimentação de massa e ocorrência de inundação:
 - Entre o limite da vereda e buffer de 50 metros da APP de vereda²;
 - Faixa de APP de curso d'água de 15 a 30 metros nas áreas inseridas na ARINE.
3. Área em APP não regularizável: Refere-se às áreas de APP não ocupadas nem edificadas em interseção e que apresentam elevado grau de susceptibilidade à movimentação de massa e ocorrência de inundação.
4. Área apta com vegetação nativa remanescente: Compreende a área com vegetação remanescente em que não há restrições ambientais, não existe faixa de APP, nem ameaça geotécnica.

¹ Determinação de 15 metros de faixa não edificável para ARINE de acordo com o Art. 65 do Código Florestal e 50 metros para nascentes

² Determinação de APP de 50 metros para veredas do Código Florestal

5. Área apta à ocupação sem restrições: Compreende a área em que não há restrições ambientais, não existe faixa de APP, nem ameaça geotécnica e está apta a ocupação.

Desta forma, pelos critérios utilizados para a determinação das áreas de preservação permanente, os pontos críticos relacionados à ameaça geotécnica já se encontram englobados pela própria área da APP. Esta última, a qual funciona como uma delimitação legal relativa à restrição com o propósito de conservação ambiental, também desempenha aqui o papel de coibir e conter o avanço da ocupação em regiões que apresentam potencial real ao desenvolvimento de casos contrários e de ameaça à aptidão urbana.

A poligonal estabelecida encontra-se representada na Figura 5.1.

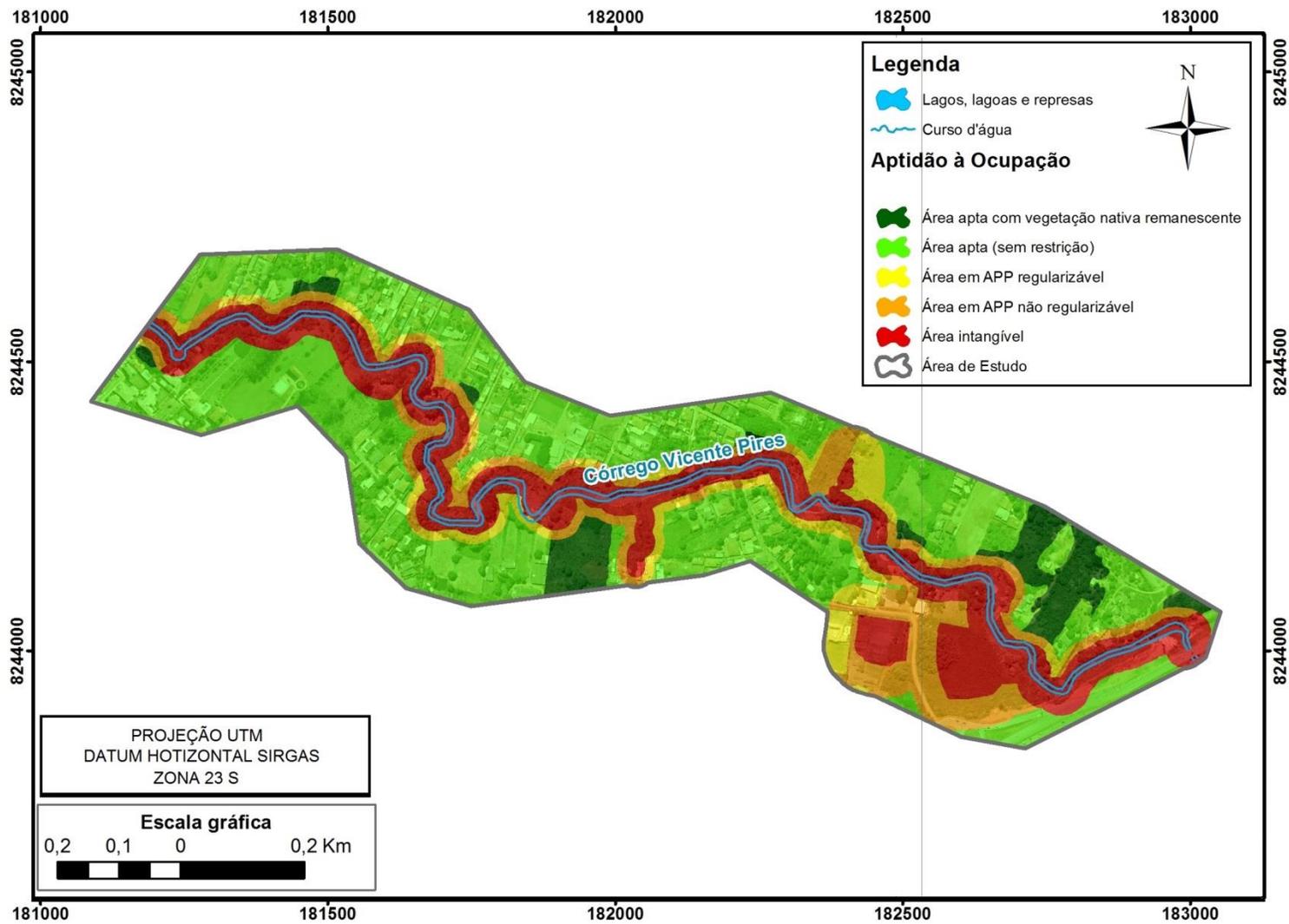


Figura 5.1 Carta de aptidão geotécnica para fins de ocupação urbana do Setor Habitacional Bernardo Sayão.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Em face das análises empreendidas, é possível tecer algumas conclusões sobre o que foi alcançado na geração de Carta de Aptidão Geotécnica para fins de ocupação urbana do Setor Habitacional Bernardo Sayão. Ressalta-se que o objetivo maior é a concepção de informações capazes de auxiliar na tomada de decisão quando da ocupação urbana da área em questão, visto que a ocupação em áreas com elevado índice de ameaça representa perigo para a população e para o meio.

Os dados obtidos a partir dos ensaios de laboratório e de campo e o levantamento topográfico permitiram a caracterização geotécnica dos materiais existentes na área de pesquisa, servindo como dados de entrada básicos para os modelos empregados.

A inserção de dados coletados é importante para a determinação de respostas coerentes e acuradas a serem fornecidas pelos modelos. A análise destes dados foi realizada criteriosamente para extrair o máximo de informações pertinentes relacionados ao projeto.

A delimitação das APP foi realizada observando-se as regiões de faixas marginais de cursos d'água (30 m ou, no caso de ARINE, 15 m), entorno de nascentes (50 m) e áreas de veredas (50 m), totalizando 24,61 ha. Os demais critérios também foram considerados e avaliados quanto a sua observância, mas não foram atestados na área de estudo.

Em relação às áreas susceptíveis à inundação, os níveis mais altos coincidem com as regiões mais próximas dos canais de drenagem em decorrência da proximidade do freático com a superfície do terreno.

O tipo mais provável de processo de desestabilização nos taludes, em se tratando de movimentos de massa, com possibilidade de desenvolvimento na região refere-se ao deslizamento rotacional em virtude das características geotécnicas da área: capa de solo profunda nas vertentes. O comprimento das encostas é próximo da espessura da camada de material inconsolidado, estabelecendo a principal condição para essa classe de evento.

A Carta de Probabilidade de Ruptura também retrata a susceptibilidade de problemas erosivos ao longo do córrego, principalmente a erosão nos taludes das margens do curso d'água. Observa-se que o maior grau de PR em torno das margens com inclinações mais acentuadas é bem evidente, principalmente onde há uma maior sinuosidade do canal.

Constatou-se que a maioria das áreas com altos níveis de probabilidade de ruptura coincidem com as delimitadas como APP, de forma que a restrição legal confina a área que não deveria ser ocupada irregularmente.

Como medida preventiva em função da possibilidade de expansão urbana em regiões consideradas com susceptibilidade à ocorrência de deslizamentos e erosão, sugere-se que haja uma limitação quanto à ocupação irregular das áreas consideradas com aptidão igual ou pior que o nível escasso.

Sugere-se como forma de trabalhos futuros, a utilização de dados atualizados para a geração de poligonais atualizadas para a área, de forma a obter-se a configuração de acordo com o uso e ocupação mais recentes.

BIBLIOGRAFIA

AUGUSTO FILHO, O. (1992). Caracterização Geológico-Geotécnica Voltada a Estabilização de Encostas: Uma Proposta Metodológica. 1ª COBRAE, Vol. 2. Rio de Janeiro, Brasil.

ARAÚJO, D. S. D.; SCARANO, F. R.; AS, C. F. C.; KURTUZ, B. C., ZALUAR, H. L. T.; MONTEZUMA, R. C. M E OLIVEIRA, R.C. 1998. Comunidades vegetais do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba. PP 39-62. In: F. A Esteves (ed.) Ecologia das lagoas costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ). Rio de Janeiro, NUPEM-UFRJ.

AZEVEDO, G.F. (2011). Análise da Relação Chuva-Escorregamentos em Regiões Tropicais Montanhosas Urbanas, Caso de Estudo Rio de Janeiro, Brasil. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM - 198/11. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 120p.

BERGER, M.V.S., SILVA, M.C. & SALDANHA, J.C.S. (2007). Análise de vulnerabilidade da RPPN Cafundó. Geomática e análise ambiental, A.C. MORAES & A.R. SANTOS (eds.), EDUFES, Vitória, ES, pp. 32-46.

BIONDI, G., CASCONI, E., MAGUERI, M. & MOTTA, E. (2000). Seismic response of saturated cohesionless slopes. Soil Dynam. Earthquake Eng., 20(1): 209–215.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES/INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. (2004). Treinamento de técnicos municipais para o mapeamento e gerenciamento de áreas urbanas com risco de escorregamentos, enchentes e inundações. Apostila de treinamento. 73p.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Código Florestal. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012.

BREDARIOL, C. (2001). Conflito Ambiental e Negociação, Para Uma Política Local de Meio Ambiente. Tese de Doutorado. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), RJ, 244p.

CARVALHO, C.S, MACEDO, E.S. & OGURA, A.T. (Org.). (2007). Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios. Brasília, DF, Ministério das Cidades/IPT, 176p.

CÂMARA, G. & DAVIS, C. (2001). Introdução. Introdução à Ciência da Geoinformação, G. Câmara, C. Davis & A.M.V. Monteiro (eds.), INPE, São José dos Campos, pp. 1.1-1.5.

CÂMARA, G., MOREIRA, F.R., BARBOSA, C.C., ALMEIDA FILHO, R. & BÖNISCH, S. (2001). INFERÊNCIA GEOGRÁFICA E SUPORTE À DECISÃO. INPE, São José dos Campos, SP, 49 p.

CASTRO JÚNIOR RM, SOBREIRA FG, BORTOLOTTI FD, SOUZA LA. (2007). Definição de unidades geomorfológicas a partir de navegação e validação de campo utilizando GPS e sistemas de informações geográficas: o caso as sub-bacia do rio Castelo-ES. Boletim de Ciências Geodésicas; 13(1): 42-59.

CATELANI, C.S. & BATISTA, G.T. (2007). Mapeamento das Áreas de Preservação Permanente (APP) do município de Santo Antônio do Pinhal, SP: um subsídio à preservação ambiental. Revista Ambiente & Água, 2: 30-43.

COSTA, T., COSTA, C., SOUZA, M.G. & BRITES, R.S. (1996). Delimitação e caracterização de áreas de preservação permanente por meio de um sistema de informações geográficas (SIG). Revista Árvore, 20: 129-135.

CRUDEN, D.M (1991). A Simple Definition of a Landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 43(1): 27-29.

CRUDEN, D.M. & VARNES, D.J. (1996). Landslide types and processes. Landslides: Investigation and Mitigation, A.K. Turner & R.L. Schuster (eds.), National Academy Press, Washington D.C., USA, pp. 36-75.

CUANALO, O.A., GONZÁLEZ, A.O.O. & AMAY, R.G. (2011). Inestabilidad de Laderas: Influencia de la Actividad Humana. Rev. Elem., 84: 39-46.

DIAS, P. C. (2004) O que são os Sistemas de Informações Geográficas?. Disponível em: www.institutog4.com.br/blog/o-que-sao-os-sistemas-de-informacoes-geograficas. Acesso em: 26 de juho de 2018.

ENOMOTO, C. F. Método para elaboração de mapas de inundação: estudo de caso na bacia do rio Palmital, Paraná. 2004. 132f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

GARCÍA, H.A.G. (2004). Avaliação da Susceptibilidade aos Movimentos de Massa Usando Sistemas de Informação Geográfica e Redes Neurais Artificiais. Dissertação de Mestrado, UnB, Brasília, DF, 140 p.

GERSCOVICH, D. M. S. (2012). Estabilidade de Taludes. Ed Oficina de Textos, São Paulo, Brasil, pp. 13–20.

GEO LÓGICA. Estudo de Impacto Ambiental do Setor Habitacional Vicente Pires. Geo Lógica Consultoria Ambiental Ltda, Brasília. 2009.

GOSTELOW, T.P. (1991). Rainfall and landslides. Prevention and control of landslides and other mass movements, M.E. Almeida-Teixeira, R. Fantechi, R. Oliveira & A. Gomes Coelho (eds.), European Communities, Bruxelas, Bélgica, pp. 139-161.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. Estabilidade de taludes naturais e de escavação. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1976. 170p.

IIRITANO, G., VERSACE, P. & SIRANGELO, B. (1998). Real-time estimation of hazard for landslides triggered by rainfall. *Environmental Geology*, 35(2-3): 175-183.

INFANTI Jr., N. & FORNASARI FILHO, N. (1998). Processos de Dinâmica Superficial. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A (eds.) *Geologia de Engenharia*. São Paulo, SP, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), p. 131-152.

LOPES, E.S.S. (2010). TUTORIAL 10 AULAS - SPRING 5.2. Aula 10 – Modelagem Numérica. INPE, São José dos Campos, pp. 1-10.

MARICATO, E. (1996). *Metrópole na periferia do capitalismo: ilegalidade, desigualdade e violência*. São Paulo: HUCITEC. 141 p.

MENDEL, J.M. (1995). Fuzzy logic systems for engineering. A tutorial. *Proceedings of the IEEE* 83, pp 345-377.

MONTOYA, C. A. H., & ASSIS, A. P. de. (2011). Tools for Reliability Analysis in Geotechnical Engineering: Application (Spanish). *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 10(18), pp 79–86.

MOTAMEDI, M. & LIANG, R.Y. (2014). Probabilistic landslide hazard assessment using Copula modeling technique. *Landslide*, 11(4): 565-573.

NASCIMENTO, V.M.L.C., LIMA, E.R.V & SANTOS, C.A.G. (2009). SIG na avaliação de áreas para ocupação urbana de João Pessoa, PB. *Ambiente Construído*, 9(1): 107-123.

NOVAES PINTO, M. Superfícies de aplainamento do Distrito Federal. *Rev. Bras. Geogr.*, n.49(2), p. 9-26. 1987.

OCAMPO-ARAYA, M.D.C. (2016). Sistema de Classificação Geotécnica de Encostas para Projetos de Estradas Baseado no Índice de Qualidade HSQI: Aplicação na Costa Rica [Distrito Federal] 2016. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-266/16, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 135 p.

PENHA, H. (1998). Movimentos de massa. Manual de encostas da Geo Rio, Rio de Janeiro, pp. 1-26.

PINA, M.F. & SANTOS, S.M. (2000). Conceitos Básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia Aplicados à Saúde. OPAS, Brasília, 1 vol., 122 p.

Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal - PDOT (2009). Governo Do Distrito Federal, Brasília.

QUINTO JR., L. P. & IWAKAMI, L. M. O canteiro de obras. In: PAVIANI, Aldo (Organizador) (1991). *A Conquista da Cidade*, p. 55-73. Editora UnB.

REATTO, A. et al. Documentos 120; Mapa pedológico digital – SIG atualizado do Distrito Federal escala 1:100.000 e uma síntese do texto explicativo. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. 31p. 2004.

SAATY, T. L. (1977). A Scaling method for priorities in hierarquical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3): 234-281.

SABBAG, J. A. A. (2012). Brasília, 50 anos: do urbanismo moderno ao planejamento estratégico. 2012. 205 f., il. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília, Brasília, DF. pp. 45-67.

SANTOS, C.A., SRINIVASAN, V.S., SUZUKI, K. & WATANABE, M. (2003). Application of an optimization technique to a physically based erosion model. *Hydrological Processes*, 17(5): 989-1003.

SANTOS, A.R., LOUZADA, F.L.R.O. & EUGENIO, F.C. (2010). ArcGIS 9.3 total: aplicações para dados especiais. Ciências Agrárias Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES, 180 p.

SCHOR, H.J. & GRAY, D.H. (2007). Influence of topography on slope stability and hidrology. An enviromental approach to hillside develoment, mine reclamation and watershed restoration, John Wiley and sons, Inc, Canada, pp. 93–106.

SUAREZ DIAZ, J. (1995). Procesos de origen antrópico. Deslizamientos y estabilidad de Taludes en zonas tropicales, Ingeniería de Suelos Ltda (Ed.), Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Bucaramanga – Colombia, pp. 335–354.

TERRACAP/TOPOCART. RIMA – Relatório de Impacto Ambiental do Setor Habitacional Bernardo Sayão (2013). TOPOCART Topografia, Engenharia e Aerolevantamentos S/S.

TUCCI, C. E. M. (1993). Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Associação Brasileira de Recursos Hídrico/UFRGS - ABRH, 1993. 952 p.

VARNES, D.J. (1978). Slope Movement Types and Processes. Landslides, Analysis and Control, R. L. Schuster & R. J. Krizek (eds), Transportation Research Board – Commission on Sociotechnical Systems – National Research Council, National Academy of Sciences, Washington, USA, pp. 11-33.

VIDAL, J. N. (2012). “Susceptibilidad Y Amenaza De Movimientos De Ladera Mediante S.I.G. En El Municipio De Berlín, El Salvador”. Univrsidad Complutense de Madrid.

ZAMBON, K.L., CARNEIRO, A.A.F.M., SILVA, A.N.R. & NEGRI, J.C. (2005). Análise de decisão multicritério na localização de usinas termoelétricas utilizando SIG. Revista Pesquisa Operacional, 25(2): pp. 183-199.

ZUQUETTE, L. V. A importância do mapeamento geotécnico no uso e na ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração. (1993). Tese de Livre Docência, – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos. Pp. 277-289.