

Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Geociências
Departamento de Geografia
Programa de Pós-Graduação em Geografia

Caio Mário Leal Ferraz

**INUNDAÇÕES E ESCORREGAMENTOS EM TEÓFILO
OTONI, MINAS GERAIS: UMA SITUAÇÃO DE RISCO
AMBIENTAL EM CONTINUADA CONSTRUÇÃO, SEGUNDO
INDICADORES GEOMORFOLÓGICOS**

Belo Horizonte,

2019

Caio Mário Leal Ferraz

**INUNDAÇÕES E ESCORREGAMENTOS EM TEÓFILO
OTONI, MINAS GERAIS: UMA SITUAÇÃO DE RISCO
AMBIENTAL EM CONTINUADA CONSTRUÇÃO, SEGUNDO
INDICADORES GEOMORFOLÓGICOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação do
Departamento de Geografia da Universidade
Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à
obtenção do título de Doutor em Geografia.

Área de concentração: Análise Ambiental

Linha de pesquisa: Dinâmica Geoambiental

Orientador: Prof. Dr. Roberto Célio Valadão

Belo Horizonte,

2019

Folha de aprovação

A ciência promove conhecimento, mas o amor nos impulsiona a transpor barreiras, mesmo quando as vicissitudes testam nossa capacidade de caminhar.

Este trabalho representa a conclusão de uma etapa crivada de dor, sofrimento, saudade e, ainda que aparentemente paradoxal, graças, alegrias e vitórias. Meu “mais amado” não poderá dizer, como sempre dizia, que está feliz, mas meu filho há de sorrir quando regressar ao lar, ao lado daquelas que sempre esperaram por mim, nas madrugadas do caminho.

Esta tese é por vocês, Raquel, Anna e Guilherme. E é para você, pai.

João Gutemberg Ferraz do Amaral (*in memoriam*)

19/10/1944 – 02/11/2017

RESUMO

A urbanização experimentada pelos países subdesenvolvidos apresenta, como reflexos da inobservância das potencialidades e limitações dos sítios de ocupação das cidades, ocorrência de inundações, alagamentos e escorregamentos. Dentre outras mazelas socioambientais dos meios urbanos brasileiros, estas são ainda mais comuns em áreas de pluviosidade concentrada em curta estação chuvosa e relevo caracterizado por vertentes declivosas e de encostas convergentes. Tendo em vista o grande número de pessoas atingidas por inundações, alagamentos e escorregamentos, bem como os danos causados aos equipamentos urbanos, há nas geociências considerável esforço voltado para o reconhecimento e mapeamento de áreas de risco dos fenômenos. Este trabalho se agrega a tais empenhos, objetivando apresentar propostas de mapeamento dos riscos a inundações, alagamentos e escorregamentos, fundamentada em indicadores geomorfológicos e socioeconômicos inerentes aos espaços urbano e periurbano de Teófilo Otoni (MG). Para tanto, as análises foram subsidiadas por interpretações de imagens de satélites e trabalhos de campo, nos quais as intervenções diretas nos canais fluviais e alterações nas planícies de inundação foram avaliadas, assim como solos e formações superficiais presentes nas reentrâncias das vertentes da área investigada. Foi também empregada análise de parâmetros morfométricos, mediada por ferramentas de geoprocessamento, em especial quanto ao papel das reentrâncias do relevo e classes de declividade do terreno frente à suscetibilidade a escorregamentos. Estes fatores naturais tiveram suas espacialidades associadas a uma coleção de dados relacionados a operações de salvamento efetuadas pelo Corpo de Bombeiros e Polícia Militar em Teófilo Otoni, além de informações demográficas que incluem densidade habitacional, renda da população e indicadores sanitários, permitindo compreender onde, como e porque ocorreram inundações, alagamentos e escorregamentos na cidade, bem como determinar o grau de exposição das populações aos fenômenos. Observou-se que setores densamente edificados, adjacentes ao trecho mais a jusante do principal curso d'água que drena a cidade, são afetados por inundações periódicas, bem como porções altamente afetadas pela urbanização em seus principais tributários, muito em função da negligência durante a ocupação dessas áreas e execução de obras de drenagem que mais agravam do que minimizam suas ocorrências. Alagamentos apresentam íntima relação com a impermeabilização das encostas em microbacias alveolares no interior da cidade, especialmente quando os canais de drenagem dessas áreas são canalizados. Foi possível concluir, ainda, que a maior parte das reentrâncias que apresentam mais elevado risco à ocorrência de escorregamentos se localiza nas

proximidades dos limites da área urbana, não apenas em função das especificidades do sítio de ocupação, mas também em decorrência da segregação socioespacial que caracteriza a produção do espaço urbano em Teófilo Otoni (MG). Este modelo de expansão da cidade, adotado pelo menos ao longo das últimas quatro décadas, desconsidera as características geomorfológicas do sítio de ocupação e perpetua na área investigada uma já histórica construção do risco, no tempo e no espaço.

Palavras-Chave: Geomorfologia Aplicada; Urbanização; Riscos Socioambientais.

ABSTRACT

The urbanization experienced by underdeveloped countries shows the occurrence of floods, overflows and landslides, reflecting the non-observance of potentialities and limitations of occupation sites in cities. Among other socioenvironmental hazards of Brazilian urban environments, these are even more common in areas with a) concentrated rainfall in short rainy seasons; and b) relief characterized by high declivity slopes and covering slopes. Considering the large amount of people affected by floods, overflows and landslides, as well as damages caused to urban facilities, there are considerable efforts from geosciences to recognize and map areas at risk for the phenomena. This work, in addition to such efforts, aims to present proposals for mapping the risks to floods, overflows and landslides, based on geomorphological and socioeconomic indicators inherent to urban and periurban spaces in the city of Teófilo Otoni (MG). For so, analyzes were subsidized by interpretation of satellite images and field work, in which direct interventions in the fluvial channels and changes in the flood plains were evaluated, as well as soil and superficial formations present in slopes recesses in the investigated area. Morphometric parameters analyses mediated by geoprocessing tools were also employed, especially regarding the role of embankments and terrain slope classes related to susceptibility to landslides. These natural factors had their spatialities associated to a data collection related to rescue operations carried out by the Fire and Military Police Corps in Teófilo Otoni, as well as demographic information which includes housing density, population income and sanitary indicators, allowing to understand where, how and why floods, overflows and landslides occurred in the city, as well as determining the exposure degree of populations to phenomena. It was observed that densely built sectors, adjacent to the most downstream stretch of the main watercourse that drains the city, are affected by periodic floods, as well as portions highly affected by urbanization in their main tributaries, largely due to negligence during occupation of these areas and execution of drainage works that aggravate their occurrences, instead of minimizing them. Alloys are in intimate relationship with the slopes waterproofing in alveolar microbasins in the city interior, especially when drainage channels of these areas are channeled. It was also possible to conclude that most of the recesses with highest risk of landslides are located at the vicinity of urban area limits, not only due to specificities of the occupation site but also due to the socio-spatial segregation that characterizes the production of urban space in Teófilo Otoni (MG). This model of city expansion, adopted at least during

the last four decades, disregards the geomorphological characteristics of the occupation site and perpetuates an already historical construction of risk in the investigated area, in time and space.

Keywords: Applied Geomorphology; Urbanization; Socio-environmental Risks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Localização de Teófilo Otoni no nordeste de Minas Gerais, com relação a Belo Horizonte, capital do estado.....	22
Figura 1.2 – Registro fotográfico de alagamentos em Teófilo Otoni, nos bairros Olga Corrêa Prates (A) e São Jacinto (B).....	23
Figura 1.3 – Cicatrizes de escorregamentos imageadas no ano de 2002, realçados pelos círculos a nordeste (A) e sudoeste (B) de Teófilo Otoni, próximas aos limites da área urbana (em vermelho).....	24
Figura 2.1 – A vulnerabilidade e a relação entre perigo e risco (MARCELINO, 2008, p. 25).....	36
Figura 2.2 – Parâmetros e equação da análise de risco (MARCELINO, 2008, p.30).....	37
Figura 2.3 – Enchente e inundação, de acordo com o Ministério das Cidades/IPT (2007 <i>apud</i> AMARAL e RIBEIRO, 2009).....	41
Figura 2.4 – Os leitos fluviais de acordo com a frequência da descarga e topografia dos canais fluviais – modificado a partir de Oliveira e Miguez (2011).....	46
Figura 2.5 – Representação (A) e fotografia (B) de escorregamento translacional ou planar, segundo Tominaga <i>et al.</i> (2009).....	50
Figura 2.6 – Representação esquemática (A) e fotografia (B) de escorregamento rotacional, segundo Tominaga <i>et al.</i> (2009).....	51
Figura 2.7 – Representação esquemática de escorregamento em cunha, segundo Tominaga <i>et al.</i> (2009).....	52
Figura 2.8 – A forma das vertentes – em perfil – e os fluxos de água, segundo Afonso e Silva (2013).....	60
Figura 2.9 – Classificação dos elementos de uma encosta de acordo com a forma e processos operantes segundo Throe (1965) <i>apud</i> Casseti (2005).....	62
Figura 2.10 – Combinação de perfis verticais e contornos horizontais das formas de relevo (VALERIANO, 2008 – adaptado de RUHE, 1975).....	63

Figura 2.11 – Classes de forma do terreno conforme Valeriano (2008).....	64
Figura 2.12 – Representação esquemática da água retida entre as partículas do solo – água intersticial (COELHO NETTO, 2011).....	66
Figura 3.1 – Abrangência espacial da área investigada, na qual se inclui a área urbana da sede municipal de Teófilo Otoni (MG).....	72
Figura 3.2 – Avaliações de perigo ou risco (vistoria) e operações de salvamento efetuadas durante eventos de inundações e alagamentos entre 2011 e 2015, segundo Corpo de Bombeiros e Polícia Militar.....	75
Figura 3.3 – Etapas de elaboração do balanço hídrico simplificado de Teófilo Otoni (MG).....	77
Figura 3.4 – Etapas da elaboração do mapa do uso e ocupação do solo das planícies fluviais localizadas no interior da área urbana de Teófilo Otoni.....	79
Figura 3.5 – Etapas de elaboração do mapa de concentração do escoamento superficial da área investigada.....	80
Figura 3.6 – Elaboração do mapa de risco a inundações e alagamentos de Teófilo Otoni.....	81
Figura 3.7 – Elaboração do mapa de risco a escorregamentos de Teófilo Otoni.....	83
Figura 3.8 – As formas do terreno em Teófilo Otoni, a partir de Bierman e Montgomery (2014).....	86
Figura 3.9 – Fluxograma simplificado das etapas metodológicas de elaboração do trabalho.....	89
Figura 4.1 – Localização de Teófilo Otoni no estado de Minas Gerais (A) e área total investigada, com destaque para o limite urbano de Teófilo Otoni (B), conforme Ferraz <i>et al.</i> (2016a).....	91
Figura 4.2 – Mapa Geológico da área investigada (CPRM, 1996; 2001).....	93
Figura 4.3 – Afloramento da Formação Tumiritinga (A e B, com detalhes em A' e B'), intrudida pelo Tonalito São Vitor (C, com detalhes em C'), a leste de Teófilo Otoni.....	94
Figura 4.4 – Unidades de relevo da área investigada, segundo Ferraz <i>et al.</i> (2016a).....	96

Figura 4.5 – Solos predominantes na área investigada (SANTOS <i>et al.</i> , 1987).....	97
Figura 4.6 – Mapa do crescimento das áreas impermeabilizadas em Teófilo Otoni, adaptado de Ferraz <i>et al.</i> (2017).....	101
Figura 4.7 – O crescimento urbano de Teófilo Otoni em contexto geomorfológico, produzido a partir de Ferraz <i>et al.</i> (2016a) e Ferraz <i>et al.</i> (2017).....	103
Figura 4.8 – Os eixos de crescimento com relação às unidades de relevo na área investigada.....	105
Figura 4.9 – Vista de porção do setor nordeste de Teófilo Otoni, com visada para o eixo de crescimento B da Figura 4.9.....	106
Figura 4.10 – Vista de porção do setor sul de Teófilo Otoni, com destaque para ocupação urbana na Unidade 3.....	107
Figura 4.11 – Mapa de classes de declividade da área investigada.....	109
Figura 5.1 – Precipitação acumulada por ano entre 1961 e 2015, conforme dados da Estação Meteorológica Teófilo Otoni.....	113
Figura 5.2 - Precipitação acumulada por ano entre 1961 e 2015 e valor da estação chuvosa, conforme dados da Estação Meteorológica Teófilo Otoni.....	114
Figura 5.3 – Alagamento na zona oeste de Teófilo Otoni em 2012 (A) e inundação no centro da cidade em 2013 (B).....	116
Figura 5.4 – Balanço hídrico simplificado da área investigada, entre os anos de 1961 a 2008.....	120
Figura 5.5 – Balanços hídricos simplificados por década da área investigada.....	120
Figura 5.6 – Hidrogramas de áreas edificadas e não edificadas (TUCCI, 2009).....	124
Figura 5.7 – As planícies fluviais da área urbana de Teófilo Otoni (MG).....	128
Figura 5.8 – Leito e planícies de inundação do Rio Santo Antônio na cidade de Teófilo Otoni.....	129
Figura 5.9 – Aspectos do setor canalizado do Rio Santo Antônio em Teófilo Otoni.....	131

5.10 – Destaque de trecho do Rio Todos os Santos confinado por gabiões em ambas as margens (conforme mapeado em B).....	132
Figura 5.11 – Localização dos bairros afetados por inundações no setor canalizado com gabiões no Rio Todos os Santos, Teófilo Otoni (MG).....	134
Figura 5.12 – Final da canalização do Rio Todos os Santos (demarcada com o círculo vermelho).....	135
Figura 5.13 – Dois leitos de um rio: em A o leito canalizado do Rio Todos os Santos, cujos gabiões estão cobertos por vegetação que invade o canal, demarcados com as setas, em contraste com o trecho a jusante, em que inexistem as intervenções por meio de gabiões – B.....	136
5.14 – Mapa de concentração do escoamento superficial na área investigada.....	139
Figura 5.15 – Imagem de satélite dos bairros Olga Corrêa Prates e Dr. Laerte Laender que retrata os principais elementos morfológicos de interesse neste trabalho.....	141
Figura 5.16 – Aspectos geomorfológicos do bairro Olga Corrêa Prates, alagado em 2014, e Dr. Laerte Laender.....	142
Figura 5.17 – Setores dos bairros Tabajaras e Ipiranga em imagem <i>Google Earth Pro</i>	144
Figura 5.18 – Mapa de risco a inundações e alagamentos na área urbana de Teófilo Otoni.....	149
Figura 5.19 – Aspecto do leito do Rio São Jacinto. Note as passarelas rudimentares de madeira que ligam a rua às residências ou a casa construída sobre o canal (A) e a canalização precária, parcialmente entulhada por sedimentos e lixo (B).....	150
Figura 6.1 – Imagem <i>Google Earth Pro</i> , de agosto de 2002, da zona urbana e periurbana de Teófilo Otoni (MG).....	156
Figura 6.2 – Áreas afetadas por movimentos gravitacionais de massa em 2002, localizadas a nordeste (A) e sudoeste (B) da cidade de Teófilo Otoni.	157
Figura 6.3 – Cicatrizes de escorregamento avaliadas em campo, a nordeste da cidade de Teófilo Otoni.....	159

Figura 6.4 – Localização aproximada das principais cicatrizes de escorregamento com relação às reentrâncias do terreno e unidades de relevo da área investigada.....	160
Figura 6.5 – Morfologia em perfil das encostas afetadas por escorregamentos na área investigada.....	161
Figura 6.6 – Localização aproximada das principais cicatrizes de escorregamento com relação às classes de declividade da área investigada.....	163
Figura 6.7 – Localização das reentrâncias selecionadas para trabalho de campo, em extrato de imagem <i>Google Earth Pro</i>	166
Figura 6.8 – Localização dos pontos selecionados para trabalho de campo nas reentrâncias Matinha (A), Viriato (B), Olga Corrêa Prates (C), Dr. Laerte Laender (D), Jardim São Paulo (E) e Santa Clara (F). Imagem <i>Google Earth Pro</i>	167
Figura 6.9 – Coberturas superficiais das reentrâncias Santa Clara (A) e Dr. Laerte Leander (B), nos topos das vertentes.....	168
Figura 6.10 – Cicatriz de escorregamento na reentrância Matinha.....	169
Figura 6.11 – Perfis de solo das reentrâncias Olga Corrêa Prates (A) e Jardim São Paulo (B).....	171
Figura 6.12 – Solo na média vertente da reentrância Jardim São Paulo.....	172
Figura 6.13 – Coberturas superficiais da reentrância Viriato, na média vertente.....	173
Figura 6.14 – Aspectos dos materiais na base da bairros Olga Corrêa Prates.....	174
Figura 6.15 – Aspectos de campo da reentrância Santa Clara.....	175
Figura 6.16 – Reentrâncias avaliadas em campo, conforme classes de declividade.....	176
Figura 6.17 – Perfis esquemáticos longitudinal (A), no sentido do eixo principal de drenagem, e transversal (B) da reentrância Santa Clara (sem escala para a profundidade das coberturas).....	178
Figura 6.18 – Evolução do crescimento urbano para o interior da reentrância Santa Clara, em extratos de imagem <i>Google Earth Pro</i>	179
Figura 6.19 – Distribuição das coberturas superficiais nas reentrâncias de maior declividade da área investigada.....	180

Figura 6.20 – Mapa de suscetibilidade a escorregamentos das reentrâncias da área investigada.....	181
Figura 6.21 – Suscetibilidade a escorregamentos das reentrâncias da área investigada com relação ao crescimento da mancha urbana de Teófilo Otoni.....	185
Figura 6.22 – Ocupação do piso de reentrâncias nos bairros Joaquim Pedrosa (A), Indaiá (B), Olga Corrêa Prates (C) e Bela Vista (D) correspondentes respectivamente eixos de crescimento B, C, E1 e N1 da Figura 6.21.....	186
Figura 6.23 – Eixos de crescimento das duas últimas décadas da cidade de Teófilo Otoni.....	187
Figura 6.24 – Densidade habitacional (A), distribuição de domicílios com abastecimento de água da rede geral e acesso a esgotamento sanitário (B), e renda (C) elaborados a partir de Batella (2013), de acordo com setores censitários do Censo de 2010 (IBGE, 2010).....	190
Figura 6.25 – Mapa de risco a escorregamentos de Teófilo Otoni – uma aproximação.....	192

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Os fatores de predisposição dos movimentos gravitacionais de massa, segundo ZÊZERE (2005).....	54
Quadro 2.2 – Agentes dos movimentos gravitacionais de massa para Guidicini e Nieble (1983), conforme síntese de Reckziegel (2012).....	55
Quadro 3.1 – Critérios para elaboração do mapa de indicadores sanitários para Teófilo Otoni, a partir de Batella (2013).....	82
Quadro 3.2 – Critérios para mapeamento da vulnerabilidade a escorregamentos das populações de Teófilo Otoni.....	82
Quadro 3.3 – Cruzamento de informações para obtenção do mapeamento de risco a escorregamentos para Teófilo Otoni.....	83
Quadro 5.1 – Operações de salvamento e avaliações de risco em Teófilo Otoni entre 2011 e 2015, segundo Corpo de Bombeiros e Polícia Militar.....	133
Quadro 5.2 – Risco de inundação e alagamento em Teófilo Otoni, segundo Corpo de Bombeiros e Polícia Militar.....	147
Quadro 6.1 – Bairros que apresentam áreas suscetíveis a deslizamentos planares em Teófilo Otoni, segundo Parisi e Pinho (2012).....	154
Quadro 6.2 – A gradação da suscetibilidade a escorregamento das reentrâncias da área investigada, segundo a declividade predominante.....	183

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 – Eventos pluviométricos extremos e variação da vazão do Rio Todos os Santos.....	115
Tabela 5.2 – Crescimento Urbano de Teófilo Otoni entre os anos de 1986 a 2016 (FERRAZ, <i>et al.</i> , 2017).....	119
Tabela 5.3 – Razão entre a vazão do Rio Todos os Santos e o escoamento de base.....	121
Tabela 5.4 – Médias mensais (por década) da vazão do Rio Todos os Santos e escoamento basal na área investigada.....	122

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CODEVASF	Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco
COPASA	COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GPS	Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
MDEHC	Modelos Digitais de Elevação Hidrograficamente Condicionados
REDS	Sistema de Registro de Eventos de Defesa Civil
UNISDR	United Nations International Strategy for Disaster Reduction

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	21
1.1 – Objetivos	26
1.2 – Organização dos capítulos da tese	27
CAPÍTULO 2 – DOS RISCOS ÀS INUNDAÇÕES E MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA EM ÁREAS URBANAS: UM REFERÊNCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL	29
2.1 – Perigos, riscos e desastres – suscetibilidade e vulnerabilidade: reflexões conciliatórias	30
<i>2.1.1 – Perigo, risco e desastre: uma síntese conceitual</i>	30
<i>2.1.2 – Suscetibilidade e vulnerabilidade: quem está em risco?</i>	34
2.2 – Inundações e alagamentos na análise do risco: revisão teórico-conceitual	40
<i>2.2.1 – Causas e condicionantes das inundações: uma síntese</i>	42
<i>2.2.2 – Tipologias e classificações das inundações</i>	43
<i>2.2.3 – Os canais fluviais e as inundações</i>	45
2.3 – Os movimentos gravitacionais de massa: definição, tipologia, fatores condicionantes	47
<i>2.3.1 – Definição e tipologia dos movimentos gravitacionais de massa</i>	47
<i>2.3.2 – Os fatores condicionantes dos movimentos gravitacionais de massa</i>	52
<i>2.3.3 – Considerações sobre o crescimento urbano e a suscetibilidade a escorregamentos</i>	55
2.4 – Estabilidade das vertentes	58

CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	71
3.1 – As etapas de Gabinete	71
<i>3.1.1- Definição da área de estudo.....</i>	<i>72</i>
<i>3.1.2 – Levantamento e organização de dados sobre a área investigada.....</i>	<i>73</i>
<i>3.1.3 – Elaboração de referencial teórico-conceitual.....</i>	<i>75</i>
<i>3.1.4 – Formulação de balanço hídrico simplificado de Teófilo Otoni.....</i>	<i>76</i>
<i>3.1.5 – Interpretação de mapas e de produtos de sensores remotos e elaboração cartografia específica.....</i>	<i>78</i>
<i>3.1.5. A – A base cartográfica geral.....</i>	<i>78</i>
<i>3.1.5. B – O mapa de risco a inundações e alagamentos de Teófilo Otoni.....</i>	<i>80</i>
<i>3.1.5.C – Produção do mapa de risco a escorregamentos de Teófilo Otoni e adjacências.....</i>	<i>81</i>
3.2 – Os trabalhos de campo.....	84
<i>3.2.1 – As calhas e planícies fluviais de Teófilo Otoni.....</i>	<i>84</i>
<i>3.2.2 – As reentrâncias da área investigada.....</i>	<i>85</i>
3.3 – Análise e integração dos resultados.....	88
CAPÍTULO 4 – A ÁREA INVESTIGADA: TEÓFILO OTONI NO TEMPO E NO ESPAÇO.....	91
4.1 – A fisiografia da área investigada.....	92
4.2 – Considerações sobre a geomorfologia e o crescimento urbano de Teófilo Otoni.....	98
CAPÍTULO 5 – AS INUNDAÇÕES E ALAGAMENTOS NA ÁREA URBANA DE TEÓFILO OTONI.....	111
5.1 – O regime pluviométrico da área investigada.....	111

5.2 – A dinâmica fluvial e as inundações na área investigada: urbanização e ciclo hidrológico.....	118
5.3 – Intervenções na hidrografia e degradação dos canais fluviais e planícies de inundação: um panorama do Rio Todos os Santos e de seus tributários.....	127
<i>5.3.1 – O Rio Santo Antônio.....</i>	<i>128</i>
<i>5.3.2 – O Rio Todos os Santos.....</i>	<i>131</i>
5.4 – Risco e geomorfologia: considerações sobre relevo, inundações e alagamentos em Teófilo Otoni.....	137
<i>5.4.1 – Bairros Olga Corrêa Prates e Dr. Laerte Laender.....</i>	<i>140</i>
<i>5.4.2 – Bairro Tabajaras.....</i>	<i>143</i>
5.5 – Proposta de mapeamento do risco a inundações e alagamentos na área urbana de Teófilo Otoni.....	146

CAPÍTULO 6 – ESCORREGAMENTOS NA ÁREA URBANA E PERIURBANA DE TEÓFILO OTONI: UMA ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA..... 152

6.1 – A suscetibilidade a escorregamentos na área investigada.....	153
<i>6.1.1 – Evidências de escorregamentos na área investigada: considerações sobre localização e tipologia.....</i>	<i>155</i>
<i>6.1.2 – Ponderações sobre aspectos geomorfológicos associados aos escorregamentos.....</i>	<i>159</i>
<i>6.1.3 – As coberturas superficiais das áreas suscetíveis a escorregamentos: aspectos morfológicos e da dinâmica hidrológica.....</i>	<i>164</i>
<i>6.1.4 – A distribuição espacial das áreas suscetíveis a escorregamentos: primeira aproximação.....</i>	<i>180</i>
6.2 – A vulnerabilidade a escorregamentos na área investigada: a contínua construção do risco.....	184

CAPÍTULO 7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 195

REFERÊNCIAS..... 201

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Inundações e escorregamentos constituem fenômenos cujas ocorrências podem ser naturais, embora suas manifestações sejam potencializadas ou induzidas pela ação humana, em função de alterações promovidas na morfologia das vertentes, nas propriedades dos solos ou nas condições de drenagem (GUIDICINI e NIEBLE, 1983; SELBY, 1993; FERNANDES e AMARAL, 1996; OGURA *et al.*, 2004; MENDIONDO, 2005; AMARAL e RIBEIRO, 2009; CARMO, 2014). O uso inadequado do solo, ditado pelas características de sua ocupação em contexto de sistemática intensificação do crescimento populacional, tal qual tem ocorrido historicamente quanto ao processo de urbanização no Brasil, ocasionou severas interferências na dinâmica dos condicionantes de inundações, alagamentos e escorregamentos. É comum hoje no país a ocorrência de desastres cujas dimensões se relacionam às características intrínsecas do território, à sua interação com um sistema em desequilíbrio e à magnitude dos eventos (GUIMARÃES *et al.*, 2008; GONÇALVES e GUERRA, 2009; AMARAL, 2013; BERTONE e MARIANO, 2013; AMARAL e REIS, 2017).

Notadamente nos países subdesenvolvidos, a formação das cidades se iniciou em áreas adjacentes aos cursos d'água, quer pela facilidade promovida pela topografia plana, quer pelo acesso à água (ALMEIDA e CARVALHO, 2010), posteriormente ocupando feições mais declivosas do relevo. Muito em razão disso, são comuns as inundações rápidas (*flash floods*) e inundações urbanas (*urban floods*), que causam vultuosos prejuízos econômicos e levam ao óbito habitantes nas cidades (FLOODSITE PROJECT, 2008; MAZOTO, 2015). Além da ocorrência de inundações, para Tominaga *et al.* (2009), no meio urbano as alterações morfológicas promovidas pela ocupação devem ser entendidas como o elemento desencadeador de movimentos gravitacionais de massa. Para Cunha (1991) e Augusto Filho (1995) o escoamento e a concentração de águas servidas e pluviais, vazamentos nas redes de

abastecimento de água, retirada da vegetação, alteração na geometria da encosta com cortes e aterros, deposição de lixo e entulhos, fossas sanitárias, dentre outros, são elementos que contribuem para a instabilidade das encostas nas áreas urbanas. Nesse contexto, tratam os autores da existência dos escorregamentos induzidos, que resultam de intervenções nas encostas que contribuem para a deflagração do movimento.

O que se observa em Teófilo Otoni, sede municipal localizada na região nordeste do estado de Minas Gerais e a 450 km de Belo Horizonte (Figura 1.1), no que diz respeito às inundações, é panorama coerente com a literatura geomorfológica referenciada: o crescimento da cidade ocorreu, inicialmente, ao longo das planícies fluviais que margeiam o principal curso d'água que drena o município (Rio Todos os Santos) e seus mais relevantes tributários – rios São Jacinto e Santo Antônio (FERRAZ *et al.*, 2016a). Muitas destas áreas são afetadas por inundações recorrentes, podendo-se atribuir ao fenômeno uma frequência periódica, ao menos nos últimos anos.

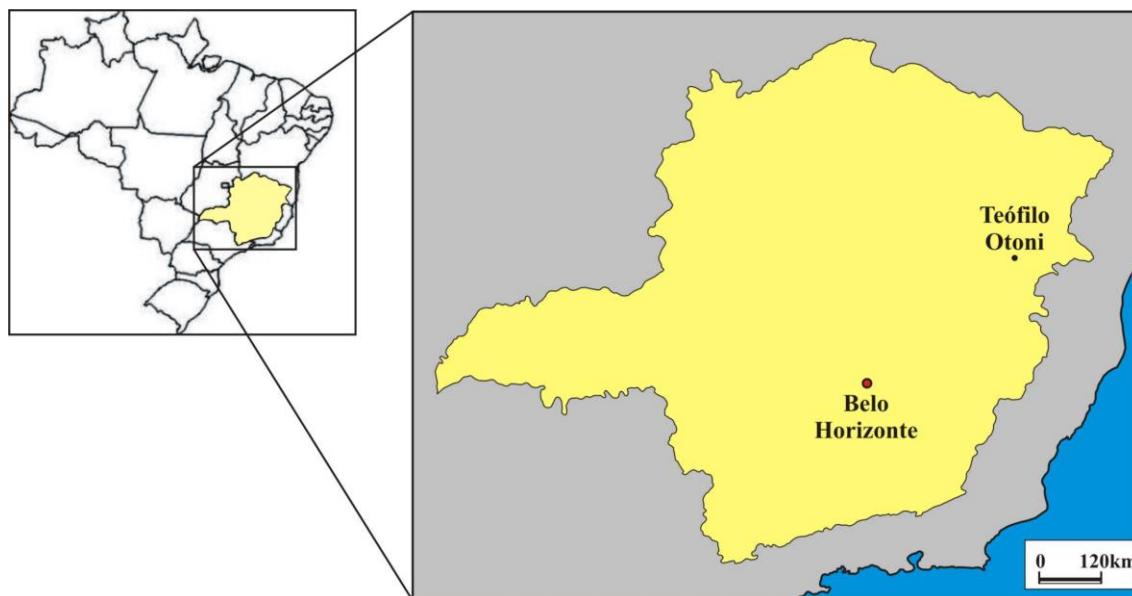


Figura 1.1 – Localização de Teófilo Otoni no nordeste de Minas Gerais, com relação a Belo Horizonte, capital do estado.

O jornal Folha de São Paulo de 04 de fevereiro de 2002 noticiou eventos ocorridos em Teófilo Otoni, quando “as inundações foram agravadas pelo fato de os dois rios que cortam o município, o Santo Antônio e o Todos os Santos, terem transbordado”, registrando também “quebra de pontes e inundações em vários pontos da cidade” (BARAGON, 2002). Eventos de natureza semelhante, ocorridos em 28 de novembro de 2012 foram publicados pelo jornal Estado de Minas, que destacou ocorrência de “alagamentos nos bairros Castro Pires, Jardim

Floresta, Turma 37, Bela Vista, Palmeiras, São Cristóvão, Vila Betel e no Centro”. No ano seguinte, em 09 de dezembro de 2013, a mídia local, por meio do portal Aconteceu no Vale, publicou que “o temporal que atingiu o município nesta sexta (06) deixou estragos em vários pontos da cidade”. Acrescentou que “duramente alguns minutos verdadeiros rios foram formados em bairros como o São Cristóvão e o Castro Pires”. O mesmo *site*, em 26 de novembro de 2015, destacou que os bairros Olga Corrêa Prates e São Jacinto foram as principais áreas afetadas por alagamentos no dia anterior à publicação, mesmas áreas atingidas em 20 de janeiro de 2016, conforme registro publicado na data seguinte (Figura 1.2).



Figura 1.2 – Registro fotográfico de alagamentos em Teófilo Otoni, nos bairros Olga Corrêa Prates (A) e São Jacinto (B).

Fonte: Aconteceu no Vale (PASSOS, 2016), acessado em 04 de julho de 2017.

Compilação de dados fornecidos pelo Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (2ª Cia/6º Batalhão) e Polícia Militar de Minas Gerais (19º Batalhão)¹ permite concluir que entre os anos de 2011 e 2015 ocorreram 69 (sessenta e nove) diligências voltadas para o atendimento da população afetada por inundações ou alagamentos. Uma dezena destas foram referentes a avaliações de risco, as demais se trataram de operações de resgate ou salvamento de vítimas de eventos desta natureza.

Análise da literatura a respeito da suscetibilidade a escorregamentos também permite considerar que Teófilo Otoni reúne muitos dos condicionantes para ocorrência do fenômeno. Faz-se referência aqui ao seu relevo, um trecho de planalto cuja dissecação fluvial esculpiu morros e colinas que contêm rampas de acentuada declividade, muitas delas marcadas por concavidades e formas convergentes do terreno (reentrâncias e anfiteatros), que se convergem para talvegues encaixados em vales profundos. O clima é caracterizado por relevante concentração pluviométrica, sendo frequentes os anos em que mais de 80% (oitenta por cento)

¹ Maiores detalhes nos capítulos 3 e 5.

da precipitação ocorre entre os meses de outubro e março (FERRAZ *et al.*, 2016b). A cobertura vegetal original de floresta (IBGE, 1987) foi quase que totalmente suprimida da paisagem, sendo substituída por campos degradados, solos expostos ou áreas impermeabilizadas pela edificação da mancha urbana da sede municipal, esta última nem sempre implantada segundo estratégias racionais de planejamento.

Nesse contexto, trabalhos recentes apontam para as consequências da urbanização desordenada de Teófilo Otoni, tanto no sentido da instabilização de taludes (PARISI e PINHO, 2012; GONÇALVES *et al.*, 2014; BARROSO *et al.*, 2016), quanto ao crescimento do tecido urbano sobre áreas restritivas e de elevada vulnerabilidade a escorregamentos (FERRAZ *et al.*, 2016a e FERRAZ *et al.*, 2018).

Além destes trabalhos, em Teófilo Otoni podem ser observadas cicatrizes de escorregamentos em imagens orbitais do ano de 2002, conforme Figura 1.3. Tais eventos ocorreram predominantemente além dos limites da área urbana, de modo que no interior da cidade foram salientados apenas de modo difuso pela imprensa, confundindo-se com colapsos de alvenarias materialmente esqueléticas ou enxurradas em ruas não pavimentadas, desprovidas de drenagem urbana. Ocorre o mesmo com os dados do Corpo de Bombeiros e Polícia Militar, sendo imprecisa a identificação de escorregamentos no interior da cidade.

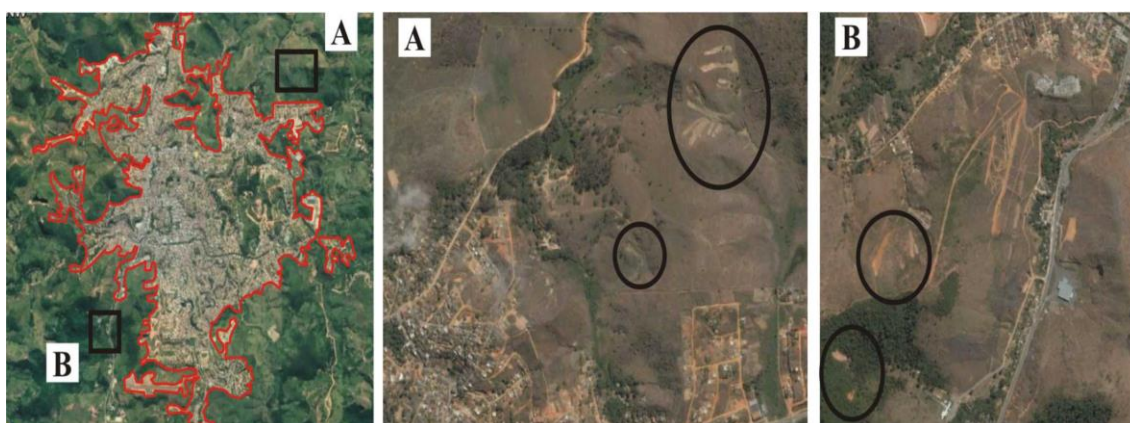


Figura 1.3 – Cicatrizes de escorregamentos imageadas no ano de 2002, realçadas pelos círculos a nordeste (A) e sudoeste (B) de Teófilo Otoni, próximas aos limites da área urbana (em vermelho). Fonte: Google Earth Pro.

Em síntese, o que se verifica é a existência de informações que apontam para a ocorrência de inundações, alagamentos e escorregamentos em Teófilo Otoni, mas relativa carência na sistematização dos registros e de trabalhos que indiquem os setores de risco e os condicionantes de ocorrência desses fenômenos. Este panorama, se por um lado demonstra a necessidade da realização de estudos voltados à melhor compreensão da dinâmica de inundações, alagamentos

e escorregamentos na cidade, por outro, reflete a dimensão dos desafios e perspectivas da tarefa considerada.

Isso também significa que pouco se conhece a respeito da ação dos fatores condicionantes do clima e do terreno para a deflagração de inundações, alagamentos e escorregamentos em Teófilo Otoni. Pode-se considerar o mesmo a respeito do papel da urbanização e crescimento do tecido urbano para a ocorrência dos fenômenos, sendo todas estas considerações alvo de interesse deste trabalho. Estão em aberto importantes questões a respeito da influência do regime pluviométrico como gatilho para as inundações e alagamentos ou para a saturação dos solos das vertentes e consequente transferência gravitacional de massa para feições mais rebaixadas do modelado. Também são pouco conhecidas as características dos solos e das formações superficiais, as quais podem conferir maior estabilidade ou tendência a movimentação de seus materiais constituintes. São pouco discutidas as consequências das intervenções diretas nos cursos d'água, como a canalização total ou parcial, bem como a edificação nas planícies fluviais que os margeiam. O papel das formas de relevo e da declividade das vertentes para a ocorrência de escorregamentos ainda permanece impreciso. Mesmo a formação e expansão do tecido urbano, ao longo da história, carece ainda de informações sistematizadas, da mesma forma que as influências das alterações promovias ao longo da história de formação da cidade frente a ocorrência de inundações, alagamentos e escorregamentos.

Recentemente, com a implantação de *campus* da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri em Teófilo Otoni, especialmente em função dos trabalhos desenvolvidos junto ao Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia, esforços têm sido direcionados a uma melhor compreensão de diversos aspectos de Teófilo Otoni e municípios circunvizinhos, muitos deles de interesse das Geociências. De maneira ainda incipiente, porém progressiva, conhecimentos a respeito do clima, solos e formações superficiais, substrato geológico e hidrologia, além de estudos voltados para a avaliação da suscetibilidade a fenômenos naturais, induzidos ou não, assim como para a vulnerabilidade das populações à sua eventual ocorrência, lançam alguma luz a respeito das questões ainda em aberto. Resultados destes esforços detêm potencial para instrumentalizar o Poder Público de informações relevantes para a determinação de estratégias e políticas de planejamento alinhadas ao bem-estar social do município e região. Este trabalho, como os demais em desenvolvimento, tem relevância diante de um cenário em que informações técnico científicas no tocante as questões

ambientais ainda são escassas e, mais das vezes, em escalas muito regionais, o que, nesse último caso, dificulta seu emprego na escala do planejamento urbano municipal.

Assim sendo, no caso deste trabalho, as seguintes hipóteses moveram a sua realização:

- a) As inundações na cidade de Teófilo Otoni não decorrem apenas do regime de chuvas que apresenta episódios de elevada precipitação pluviométrica concentrada em curto intervalo de tempo, mas também de interferências diretas levadas a termo junto aos canais fluviais e planícies de inundação, as quais afetam a vazão dos cursos d'água e contribuem para a existência de setores em que ocorre extravasamento do caudal para planícies fluviais edificadas.
- b) O relevo da área investigada, por apresentar uma série de reentrâncias e vertentes de elevada declividade, possui, como característica natural, áreas cuja dinâmica hidrológica favorece a concentração de fluxos superficiais e subsuperficiais. Em função disso, o relevo é condicionante para inundações, alagamentos e escorregamentos em Teófilo Otoni.
- c) O modelo de urbanização vigente na cidade, caracterizado pela ocupação desordenada e por carência de planejamento para ocupação e uso do solo, se soma às características naturais do terreno e do clima por meio de edificação em áreas vulneráveis à ocorrência de inundações e escorregamentos, em um processo de construção dos riscos.
- d) Além do relevo e da urbanização não planejada, as características morfológicas dos solos são determinantes para a instabilidade das encostas e, nesse sentido, as pressões oriundas do crescimento urbano podem se refletir na incorporação de áreas de elevada suscetibilidade a escorregamentos ao tecido urbano de Teófilo Otoni.

1.1 – Objetivos

Objetivo Geral

O objetivo primordial deste trabalho é mapear as áreas de risco a inundações, alagamentos e escorregamentos, em primeira proposta para Teófilo Otoni, Minas Gerais.

Objetivos Específicos

- Identificar o papel do relevo para a deflagração de inundações, alagamentos e escorregamentos na área investigada, em especial no que se refere às reentrâncias do relevo e à declividade das vertentes.
- Reconhecer a atuação do clima, mais especificamente do regime pluviométrico, para a deflagração de inundações, alagamentos e escorregamentos, apontando os episódios de precipitação que figuraram como gatilho para a ocorrência dos fenômenos.
- Compreender o papel da formação e expansão do tecido urbano de Teófilo Otoni, notadamente a edificação sobre planícies fluviais e reentrâncias do relevo, no que se refere à ocupação de áreas suscetíveis ou como ação indutora para a ocorrência de inundações, alagamentos e escorregamentos.
- Apontar as populações vulneráveis aos fenômenos no interior do tecido urbano, por meio do registro de vítimas de eventos ocorridos no passado recente ou pela avaliação das características socioeconômicas de populações dos diferentes setores da cidade.
- Avaliar o modelo de expansão do espaço urbano de Teófilo Otoni, possibilitando delinear perspectivas da permanência, no tempo e no espaço, dos setores de crescimento da cidade com vistas a contribuir para o seu ordenamento territorial futuro.

1.2 – Organização dos capítulos da tese

Esta tese está organizada em uma divisão por capítulos. No primeiro apresenta-se o problema e o tema da pesquisa, as hipóteses que nortearam seu desenvolvimento e os objetivos do trabalho. O segundo capítulo trata do referencial teórico e da definição dos conceitos utilizados, a exemplo do significado aqui entendido para suscetibilidade, vulnerabilidade e risco. Trata ainda das concepções teóricas a respeito de inundações, alagamentos e escorregamentos, apontando o significado adotado neste trabalho. O terceiro capítulo apresenta as etapas de elaboração da pesquisa, tanto em campo quanto em gabinete, assim como as interações entre os trabalhos desenvolvidos. No quarto capítulo é construída uma caracterização de aspectos fisiográficos da área investigada, além de uma interpretação do crescimento da cidade de Teófilo Otoni, nas últimas quatro décadas, em análise cruzada à compartimentação geomorfológica do sítio de ocupação. No quinto capítulo propõe-se uma avaliação sobre as inundações e os alagamentos ocorridos na área investigada, bem como sugestão de mapeamento do risco a inundações e alagamentos para a área urbana de Teófilo Otoni. No sexto capítulo

desenvolve-se análise dos escorregamentos ocorridos na área investigada, avaliação dos seus condicionantes e proposta de mapeamento do risco a escorregamentos no interior e adjacências da cidade de Teófilo Otoni. No sétimo e último capítulo estão apontadas as principais conclusões da pesquisa, com destaque para fatores e condicionantes dos fenômenos avaliados que, julga-se aqui, devem receber atenção especial por parte do Poder Público Municipal no norteamento das diretrizes, políticas e ações de planejamento do espaço urbano sob sua gestão.

CAPÍTULO 2

DOS RISCOS ÀS INUNDAÇÕES, ALAGAMENTOS E MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA EM ÁREAS URBANAS: UM REFERÊNCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL

A literatura que trata dos movimentos gravitacionais de massa e inundações é vasta e rica, estando presentes discussões que enfocam definições conceituais, dinâmica dos processos, agentes e fatores condicionantes e avaliações de risco (especialmente no seio da geomorfologia aplicada). O mesmo se pode afirmar acerca dos estudos dos perigos, riscos e desastres naturais, sendo possível debruçar-se sobre um acervo de informações detalhado e historicamente construído, em diversas áreas do conhecimento. Situação semelhante ocorre no que diz respeito aos conceitos de suscetibilidade e vulnerabilidade aos escorregamentos, alagamentos e inundações, tema sobre o qual abrangentes debates estão presentes na literatura. Da mesma forma, é extremamente diverso o cabedal de conhecimento relacionado às mais distintas facetas do processo de urbanização no planeta, ao longo da história, e suas consequências ambientais, especialmente as que envolvem suscetibilidade e vulnerabilidade a inundações, alagamentos e escorregamentos em meio urbano.

Em função da ocorrência de opiniões distintas, em alguns momentos complementares, noutros quase divergentes a respeito dos temas abordados, elaborou-se revisão da bibliografia pertinente aos assuntos de interesse deste trabalho. O resultado é um referencial teórico-conceitual, o qual pode balizar e auxiliar na compreensão, análise e abordagem metodológica da investigação das inundações e dos escorregamentos na área investigada.

2.1 – Perigos, riscos e desastres – suscetibilidade e vulnerabilidade: reflexões conciliatórias

Trabalhos que visam identificar risco a inundações, alagamentos e movimentos gravitacionais de massa, via de regra, enfrentam dificuldade em estabelecer uniformidade dos conceitos de perigo, risco e desastre. Isso ocorre em função das sobreposições linguísticas oriundas das traduções dos conceitos e pelo fato de distintas áreas do conhecimento entenderem tais termos do modo que melhor se adequam à época, metodologias ou objetos de estudo (CUTTER, 1994; CARDONA ARBOLEDA, 2003).

Dentre esses complicadores, a limitação linguística se destaca, especialmente no que diz respeito ao termo *hazards* – *natural hazards*: em alguns casos traduzido como riscos – riscos naturais –, em outros como perigo ou ameaça. Nesse sentido, referindo-se ao conceito de *hazards*, Marandola Jr. e Hogan (2005, p.101), afirmam que a “verdade é que não há uma palavra correspondente em português (ou em outras línguas latinas, como o Espanhol e o Francês) que exprima o verdadeiro significado desta palavra”, residindo nesse fato “certa confusão” nas traduções. Mazoto (2015, p.27) complementa, ao abordar a dificuldade em se estabelecer os significados dos conceitos de perigo e risco, que “essas palavras, muitas vezes, são utilizadas como sinônimos, mas não são”, ao passo que Torres (2000), Hogan *et al.* (2001) e Cardona Arboleda (2003) reconhecem a existência de lacunas no esforço em estabelecer um significado multidisciplinar para *hazards*, perigo e risco. Na opinião de White e Burton (1980) até mesmo na língua inglesa ocorre sobreposição dos significados de *risk* (risco) e *hazard*, quando observam que há escolas de pensamento que entendem risco como sinônimo de *hazard*, ainda que o risco tenha a implicação adicional da possibilidade de um perigo particular acontecer.

Após o exposto, o objetivo dos próximos tópicos é avaliar importantes concepções de perigo, risco e desastre, buscando convergências que possibilitem parametrizar e estabelecer o uso e significado dos conceitos nesta pesquisa.

2.1.1 – Perigo, risco e desastre: uma síntese conceitual

De acordo com Cardona Arboleda (2003), os pioneiros esforços no estudo dos riscos aos quais populações estavam submetidas remontam a meados do século XX, dentro das ciências sociais. Mesmo assim, somente em tempos mais recentes, especialmente a partir da década de 1970, tais pesquisas ganharam envergadura. Já Marandola Jr. e Hogan (2005, p.31) explicam

que pesquisas que envolvem a ocorrência de *natural hazards*, foram iniciadas por geógrafos, ainda na década de 1920, que buscavam entendimentos sobre “fenômenos naturais que, em situações extremas, causavam danos ou expunham populações ao perigo”.

Para Uitto (1998) ocorre um desastre quando um “perigo” ou “ameaça” (*hazard*) atinge uma população. Nesse sentido, há a ideia do desastre como consequência de um evento danoso sobre uma área habitada, assim como a interpretação do *hazard* como perigo ou ameaça, não muito distante, etiológicamente, de azar ou acidente. Em perspectiva semelhante, Kobiyama *et al.* (2006) entendem “riscos naturais” (*natural hazards*) como eventos ameaçadores, capazes de produzir danos ao meio físico e social, não só considerando o seu momento de ocorrência, mas em longo prazo, devido às consequências de um desastre.

É tarefa complexa determinar o significado do conceito *hazards* (ou *natural hazards*). No Brasil, mais especificamente na Geomorfologia, Christofolletti (1981) adota o termo “azares” ou “azares naturais”, enquanto Guerra e Cunha entende que os “riscos naturais” são causados por forças da natureza, envolvendo também a ação humana materializada na produção dos espaços urbanos e rurais (GUERRA e CUNHA, 1994). Ainda no seio da Geografia, Monteiro (1991), com enfoque na climatologia, adota o significado de “acidente” climático (*climatic hazards*). Aprofundando o debate, Smith (1992, p.6) explica que²:

Risk is sometimes taken as synonymous with hazard but risk has the additional implication of the chance of a particular hazard actually occurring. Thus, we may define hazard as “a potential threat to humans and their welfare” and risk as “the probability of hazard occurrence”.

Para Aneas de Castro (2000), Alcántara-Ayala (2002) e Marandola Jr e Hogan (2005) são distintos os conceitos de perigo e de risco, e a tradução de *hazard* muito mais se aproxima do primeiro do que do segundo. Interpretam que o risco é um fator probabilístico e o *hazard* é um evento danoso, capaz de colocar as populações em perigo.

Essa interpretação encontra respaldo na concepção das Nações Unidas, que assim define perigo:

Um evento físico potencialmente prejudicial, fenômeno ou atividade humana que pode causar a perda de vidas ou lesões, danos à propriedade, interrupção social e econômica ou degradação ambiental. Os perigos podem incluir

² Há esforço em se traduzir todas as citações para a língua portuguesa, visando uma padronização do texto. Em alguns casos, entretanto, opta-se por preservar o texto original, uma vez que se discute o sentido que os autores conferem às palavras *hazards* e *risk*. O texto pode ser assim traduzido: “às vezes, o risco é tomado como sinônimo de perigo, mas o risco tem a implicação adicional da chance de ocorrência de um perigo em particular. Assim, podemos definir o perigo como “uma ameaça potencial aos seres humanos e seu bem-estar” e risco como “a probabilidade de ocorrência do perigo”.

condições latentes que podem representar ameaças futuras e podem ter origens diferentes: naturais (geológicas, hidrometeorológicas e biológicas) ou induzidas por processos humanos (degradação ambiental e riscos tecnológicos) (UNISDR, 2004, p.4)³.

Estando bem estabelecidas as relações entre os perigos e as atividades antrópicas Burton *et al.* (1978), Aneas de Castro (2000) e Cardona Arboleda (2003), reconhecem que entre os fenômenos passíveis de causar perigo às populações estão enchentes, escorregamentos, tornados, erupções vulcânicas, furacões, vendavais, granizo, geadas, nevascas, desertificação e terremotos, dentre outros.

Sobre o conceito de risco, para Cardona Arboleda (2003, p.1), este se trata da “perda potencial para o sujeito exposto ou sistema”⁴ e “pode ser expresso em forma matemática, como a probabilidade de superar determinada consequência econômica, social ou ambiental em determinado local e durante um determinado período de tempo”⁵. Assim o risco é entendido como um potencial de perda ou prejuízo, probabilidade de ocorrência de um fenômeno que afete atividades humanas, bem como afete o ambiente. Consiste ainda na perspectiva do potencial de perda que pode ocorrer ao indivíduo ou ao sistema exposto (CARDONA ARBOLEDA, 2001). Em interpretação semelhante, Kobiyama *et al.* (2006) percebem risco como a probabilidade de ocorrência de eventos extremos. Já Narváez *et al.* (2009) entendem que o risco de ocorrência de um desastre é a probabilidade de incidência de evento que possa causar danos e perdas futuras.

Por se tratar de conceitos que podem parecer confusos, Smith (1992, p.6) apresenta o seguinte raciocínio: imagine “duas pessoas cruzando um oceano, uma em um forro de madeira e outra em um barco a remo. O perigo (morte por afogamento) é o mesmo em ambos os casos, mas o risco (probabilidade de afogamento) é muito diferente”⁶. Novamente a noção de probabilidade está em evidência.

Em esforço semelhante e visando o mesmo objetivo (conceituar perigo e risco, além de caracterizar cada um dos termos), Kobiyama *et al.* (2006, p.17), propõem o seguinte raciocínio:

³ A potentially damaging physical event, phenomenon or human activity that may cause the loss of life or injury, property damage, social and economic disruption or environmental degradation. Hazards can include latent conditions that may represent future threats and can have different origins: natural (geological, hydrometeorological and biological) or induced by human processes (environmental degradation and technological hazards).

⁴ Risk is the potential loss to the exposed subject or system.

⁵ May be expressed in a mathematical form as the probability of surpassing a determined level of economic, social or environmental consequence at a certain site and during a certain period of time.

⁶ Two people crossing an ocean, one in a liner and the other in a rowing boat. The hazard (death by drowning) is the same in both cases but the risk (probability of drowning) is very different.

Exemplificando tal relação, um fenômeno atmosférico extremo como um tornado, que costuma ocorrer em uma determinada região (susceptibilidade) e época conhecida, gera uma situação de perigo. Se este se deslocar na direção de uma determinada área povoada, com uma possibilidade real de prejuízos em um determinado período (vulnerabilidade), teremos então uma situação de risco. Se o tornado atingir a área povoada, provocando danos materiais e vítimas, será denominado como um desastre natural.

Uma síntese a respeito do que se deve entender pelo conceito de desastre, e que conserva as mais importantes linhas gerais até aqui destacadas, é fornecida pela Estratégia Internacional para Redução de Desastres (United Nations International Strategy for Disaster Reduction – UNISDR), a saber:

Uma séria interrupção do funcionamento de uma comunidade ou de uma sociedade que causa perdas humanas, materiais, econômicas ou ambientais generalizadas que excedem a capacidade da comunidade ou sociedade afetada de lidar com seus próprios recursos. Um desastre é uma função do processo de risco. Isso resulta da combinação de perigos, condições de vulnerabilidade e capacidade ou medidas insuficientes para reduzir as possíveis consequências negativas do risco (UNISDR, 2004, p.3)⁷.

Em conceito complementar, Parizzi (2014) ressalta que os desastres mistos, segundo o Ministério da Integração Nacional (BRASIL, 2003), são entendidos como resultado das ações humanas que contribuem para agravar ou intensificar fenômenos potencialmente causadores de desastres. Para a autora os desastres mistos também são caracterizados quando “intercorrências de fenômenos naturais adversos, atuando sobre condições ambientais degradadas pelo homem, desencadeiam desastres” (PARIZZI, 2014, p.2).

Retornando-se aqui à ideia de probabilidade contida no conceito de risco, segundo propõem Marandola Jr. e Hogan (2005, p.100), o conceito “risco (*risk*) é utilizado pelos geógrafos como uma situação, que está no futuro e que traz a incerteza e a insegurança”. Complementam afirmando que estar em risco “é estar suscetível à ocorrência de um *hazard*”. Essa ponderação é considerada importante para o presente trabalho, visto que as ideias de (i) situação que traz incerteza e insegurança ou (ii) susceptibilidade à ocorrência de um evento que pode causar danos, embora não sejam dissonantes de probabilidade ou possibilidade, parecem conceber e menor carga estatística ou probabilística. Essa observação se justifica uma vez que não é meta deste trabalho estabelecer a defesa de uma dentre as distintas visões existentes na

⁷ A serious disruption of the functioning of a community or a society causing widespread human, material, economic or environmental losses which exceed the ability of the affected community or society to cope using its own resources. A disaster is a function of the risk process. It results from the combination of hazards, conditions of vulnerability and insufficient capacity or measures to reduce the potential negative consequences of risk.

literatura específica ao tema, mas sim ponderar sobre quais delas mais se alinha aos objetivos propostos para a pesquisa. Assim sendo, a ideia de entender risco como possibilidade ou suscetibilidade parece mais viável frente à perspectiva estatístico-probabilística. Por este motivo, a interpretação que se utiliza neste trabalho pode ser da seguinte maneira sintetizada⁸:

- Perigo: fenômeno ou evento de gênese natural, antrópica ou associações entre ambos, com potencial para causar danos diversos.
- Risco: possibilidade de ocorrência de um perigo em áreas ocupadas pelo homem.
- Desastre: Materialização do risco: ocorrência do evento em áreas ocupadas pelo homem, causando danos à vida e às propriedades.

2.1.2 – *Suscetibilidade e vulnerabilidade: quem está em risco?*

Eventos naturais potencialmente nocivos (perigos) se caracterizam, dentre outros aspectos, pela possibilidade de ocorrência em uma área (geograficamente determinável) e pela capacidade de colocar em risco estruturas e vidas humanas, causando danos. Isso significa que tais fenômenos têm potencial para “causar perda de vida, lesões ou outros impactos sobre a saúde, danos materiais, perda de meios de subsistência e de serviços, perturbações sociais e econômicas ou danos ambientais” (PARIZZI, 2014, p.1). A esse respeito, Cerri e Amaral (1998, p.301), ao abordarem os riscos geológicos⁹, consideram que a “suscetibilidade de uma área com relação a determinado fenômeno geológico caracteriza a possibilidade de sua ocorrência (evento)”. Explicam ainda que:

A ocorrência de um fenômeno geológico pode ou não gerar perdas e danos. No primeiro caso ele é chamado de acidente e no segundo de evento. A susceptibilidade de uma área com relação a determinado fenômeno geológico caracteriza a possibilidade de sua ocorrência (evento), enquanto que risco envolve a possibilidade de que um fenômeno (evento) seja acompanhado de danos e perdas (acidente) (CERRI e AMARAL, 1998, p.301).

Neste caso, os autores entendem a suscetibilidade como atributo de uma área em que pode incidir um fenômeno potencialmente danoso. Já para Bateira e Abreu (2003) as características

⁸ De acordo com White e Burton (1980); Smith (1992); Uitto (1998); Aneas de Castro (2000); Torres (2000); Hogan *et al.* (2001); Cardona Arboleda (2001; 2003); Alcántara-Ayala (2002); (UNISDR, 2004); Marandola Jr. e Hogan (2005); Kobiyama *et al.* (2006) e Mazoto (2015).

⁹ Para Parizzi (2014, p.1) risco geológico é a “possibilidade de um processo geológico ou fenômeno causar perda de vida, lesões ou outros impactos sobre a saúde, danos materiais, perda de meios de subsistência e de serviços, perturbações sociais e econômicas ou danos ambientais.”

do meio que configuram potencial para a ocorrência de um evento danoso são entendidas como suscetibilidade, atributos estes compreendidos por Benedet (2015, p.40) como “fatores de suscetibilidade do meio físico”. Além dos contextos geomorfológicos que potencializam a suscetibilidade natural do terreno, para Bateira e Abreu (2003, p.9) “a ação humana é um fator de agravamento da susceptibilidade geomorfológica a movimentos de vertente”.

Nesse cenário, Alheiros *et al.* (2004) lembram que componentes do ambiente construído se somam aos componentes sociais, ampliando a dimensão da suscetibilidade dos sistemas naturais por meio da suscetibilidade induzida. Assim, a abordagem do risco pode ser realizada de modo quantitativo, qualitativo ou ambos, enfatizando uma ou outra variável, entre as quais: ameaça, perigo, suscetibilidade, vulnerabilidade, dano e prejuízo (CERRI e AMARAL, 1998; ALHEIROS, *et al.*, 2004).

Alcántara-Ayala (2002), por sua vez, entende que os perigos naturais podem ser entendidos como “vulnerabilidade natural”, os quais somados aos resultados dos sistemas humanos ocasionam ou ampliam exposições sociais aos desastres, a saber:

Perigos naturais são de fato eventos geofísicos, tais como terremotos, escorregamentos, atividade vulcânica e inundações. Eles têm a característica de oferecer perigo para as diferentes entidades sociais do nosso planeta, no entanto, esse perigo não é apenas o resultado da processo por si (vulnerabilidade natural), é o resultado dos sistemas humanos e suas vulnerabilidades a eles associadas (vulnerabilidade humana). Quando os dois tipos de vulnerabilidade tem as mesmas coordenadas no espaço e tempo, desastres naturais podem ocorrer (ALCÁNTARA-AYALA, 2002, p. 108)¹⁰.

Explica ainda Alcántara-Ayala (2002) que a vulnerabilidade natural se refere à exposição dos sistemas humanos aos fenômenos naturais que representam perigo e à localização daqueles que estão expostos em áreas com elevado grau de suscetibilidade aos riscos naturais. Nesse conceito, a suscetibilidade é inerente ao sítio de ocupação, ao passo que a vulnerabilidade se relaciona à exposição das populações aos elementos do meio. Na opinião de Benedet (2015, p. 55) “os conceitos de ameaça e de vulnerabilidade geram-se mutuamente e são inseparáveis”. Isso significa que “não há a ameaça sem elemento, sujeito ou comunidade vulnerável”.

Para Burton *et al.* (1978) a interação entre natureza, sociedade e tecnologia compõe diferentes graus de vulnerabilidade aos perigos. Já as Nações Unidas consideram que a

¹⁰ Natural hazards are indeed geophysical events, such as earthquakes, landsliding, volcanic activity and flooding. They have the characteristic of posing danger to the different social entities of our planet, nevertheless, this danger is not only the result of the process per se (natural vulnerability), it is the result of the human systems and their associated vulnerabilities towards them (human vulnerability). When both types of vulnerability have the same coordinates in space and time, natural disasters can occur.

definição de vulnerabilidade perpassa pela conjunção de aspectos físicos (ou ambientais), sociais e políticos que determinam a suscetibilidade de uma comunidade aos perigos¹¹ (UNISDR, 2004, p.8). Nessa linha de raciocínio, segundo Cardona Arboleda (2001), vulnerabilidade é definida como um processo interno a um sistema: trata-se da suscetibilidade de indivíduos ou comunidades a sofrer danos e prejuízos quando acometidos por desastres. Em outras palavras, o autor atribui a vulnerabilidade àquele exposto ao fenômeno (perigo) ou evento (risco). Nesse sentido, o risco passa a ser compreendido a partir da perspectiva do potencial de perda do indivíduo ou sistema exposto, que resulta da convergência entre ameaça e vulnerabilidade. Para o autor, ainda, a vulnerabilidade pode ser entendida como limitada capacidade de uma população em se ajustar ou adaptar às circunstâncias do meio e, sendo assim, à predisposição desta população ao dano ou prejuízo eventualmente causados pelos elementos aos quais está vulnerável (CARDONA ARBOLEDA, 2001).

Marcelino (2008, p.24) considera que “a gravidade dos desastres também pode estar vinculada aos sistemas sociais expostos, ou seja, a fragilidade do ambiente socialmente construído (vulnerabilidade)”. Para o autor, ao aumentar a frequência e a intensidade da vulnerabilidade a um perigo, ocorrerá conseqüente aumento do risco deste perigo se transformar em desastre, conforme Figura 2.1.

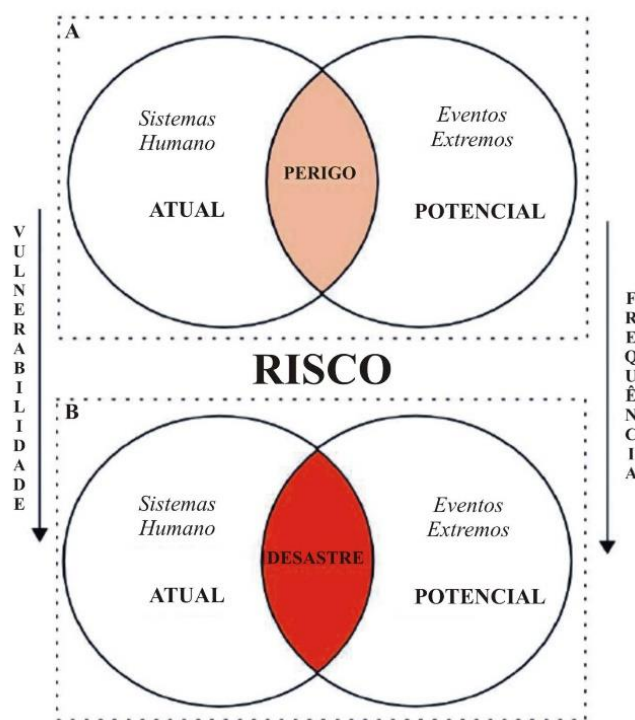


Figura 2.1 – A vulnerabilidade e a relação entre perigo e risco (MARCELINO, 2008, p. 25).

¹¹ The conditions determined by physical, social, economic, and environmental factors or processes, which increase the susceptibility of a community to the impact of hazards.

Essa opinião encontra respaldo nas contribuições de Mitchel (1999), que entende vulnerabilidade como a medida em que as pessoas estão expostas ao risco, estando implícito o potencial para perda ou prejuízo. Dessa forma, essa exposição é reflexo das características sociais e econômicas dos indivíduos ou grupos que habitam e edificam um espaço, em função das especificidades sociais, econômicas, ambientais e culturais (dos grupos e do meio). Nessa concepção, torna-se possível estabelecer diferentes graus de vulnerabilidade para os indivíduos e grupos, levando-se em consideração as interrelações entre aspectos diversos, a exemplo de etnia, classes sociais ou gênero. Assim, para Alcántara-Ayala (2002) a vulnerabilidade determina a magnitude do desastre, bem como a capacidade de resiliência das comunidades afetadas.

Como exemplo, Parizzi (2014, p.5), utilizando-se de dados do Ministério da Integração Nacional (BRASIL, 2007) elucida:

A ocorrência e a intensidade dos desastres dependem, em grande parte, do grau de vulnerabilidade dos cenários de desastres e das comunidades afetadas, e não somente da magnitude dos eventos adversos. Assim, por exemplo, terremotos com magnitude de 6.5 graus na escala Richter provocaram as seguintes perdas humanas: cinco óbitos na Califórnia; 20 mil óbitos, no Cairo; 40 mil óbitos, na Armênia (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL – BRASIL, 2007).

Na mesma linha, Cérdan (2007), entende que as características do território, bem como os aspectos naturais e humanos, determinam a magnitude dos desastres e os efeitos adversos decorrentes (danos). De qualquer forma, a análise da vulnerabilidade é crucial para a avaliação dos riscos e, para Marcelino (2008, p.30), a avaliação do risco “envolve basicamente o inventário dos perigos naturais (P), o estudo da vulnerabilidade (V) e o mapeamento das áreas de risco (R)”, segundo a equação $R=P \times V$ (Figura 2.2).

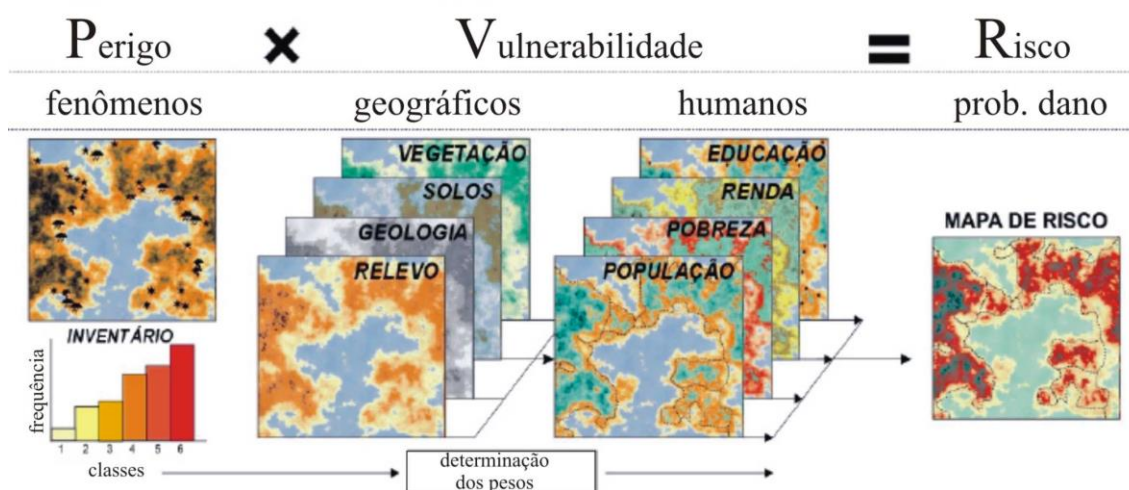


Figura 2.2 – Parâmetros e equação da análise de risco (MARCELINO, 2008, p.30).

Para Marcelino (2008, p.30) os parâmetros representados na figura são construídos por um conjunto de diversos dados e fontes (medições de campo, mapas, questionários, produtos de sensoriamento remoto, dentre outros) e “permitem identificar as características do ambiente e o contexto socioeconômico em que podem ocorrer os desastres”. Em função da complexidade das variáveis, o autor considera que uma grande incerteza envolve as avaliações de risco e ressalta:

Além disso, a incerteza pode aumentar com a combinação ou complexidade do risco, principalmente quando envolve múltiplos perigos. Sempre que possível, deve-se utilizar dados quantitativos, de fontes oficiais ou confiáveis, longas séries históricas e métodos de análise que envolvam modelos matemáticos e físicos. A intenção é que essa avaliação torne passível de repetição e comparação, refletindo de forma mais transparente a realidade local e não a percepção do especialista responsável pela análise (MARCELINO, 2018, p.30).

No entanto, Brookfield (1999) considera que não se pode prescindir da análise da suscetibilidade na avaliação do risco. Para o autor a vulnerabilidade se relaciona tanto com as características físicas (naturais) do local quanto com as condições econômicas e sociais das populações que a habitam. Enfatiza que há forças físicas e humanas na produção da vulnerabilidade e dos danos, enfocando que os estudos sobre os riscos a desastres devem avaliar a resistência e sensibilidade do ambiente, sem necessariamente partir das condições sociais da vulnerabilidade. Adverte que não se deve sobrepujar as causas naturais envolvidas na produção do risco.

Por sua vez, Parizzi (2014) ressalta que o crescimento dos centros urbanos, na maioria das vezes acompanhado de formas inadequadas de ocupação e uso dos solos, aumenta a vulnerabilidade e, conseqüentemente, o grau de exposição ao risco. Para a autora, independente da natureza do fenômeno desencadeador do desastre, os danos podem ser atenuados ou até mesmo inexistentes se a ocupação é realizada de modo racional, respeitando o equilíbrio e a dinâmica dos sistemas naturais do ambiente a ser ocupado. Com um mesmo entendimento, El-Masri e Tiplle (2002) consideram que os desastres são conseqüências dos problemas decorrentes do desenvolvimento de uma região, que, ao longo do tempo, configuram a vulnerabilidade socioeconômica e estrutural. Para os autores, ocupação irregular (assentamentos espontâneos) durante o processo de construção do espaço urbano, na maior parte das vezes, produz as piores condições de moradia e determinam fragilização das condições de vida nestas áreas.

Mais especificamente na Geografia, na opinião de Alves (2006, p.46), embasando-se em Cutter (1994), a partir do fortalecimento do interesse em estudos sobre desastres naturais e

avaliação de risco, o conceito de vulnerabilidade passa a ser visto como “a interação entre o risco existente em um determinado lugar (*hazard of place*) e as características e o grau de exposição da população lá residente (CUTTER, 1994). Em verdade, o aludido autor considera que a “vulnerabilidade é concebida como um risco biofísico, bem como resposta social, mas dentro de uma área específica ou domínio geográfico¹²” (CUTTER, 1996, p.599). Nessa linha Marandola Jr. e Hogan (2005), consideram que, no âmbito dos estudos sobre inundações e escorregamentos, deve-se abordar as populações em áreas de risco a partir dos fatores socioeconômicos que geram exposição das populações a riscos, especialmente em meio urbano. A esse respeito, Alves (2006, p.46) afirma que deve-se considerar a “construção da noção de *vulnerabilidade socioambiental*, a qual pretende integrar as duas dimensões – a social e a ambiental”.

A respeito do conceito de vulnerabilidade social, Alves (2006) e Cunha *et al.* (2006) consideram que, ainda que esteja em uso por grupos acadêmicos na América Latina, não há consenso sobre seu real significado, mas sua noção considera a insegurança e a exposição aos riscos das pessoas mais pobres, ao mesmo tempo em que deve-se levar em conta os recursos e estratégias dessas populações frente aos impactos que enfrentam. Assim, Cunha *et al.* (2006) enfatizam o esforço necessário para melhor entendimento dos condicionantes dessa vulnerabilidade, os quais vão além da pobreza, e permeiam os riscos a que pessoas estão cotidianamente expostas.

Nestas palavras, os autores explicam que a vulnerabilidade social apresenta “caráter multifacetado”, e várias dimensões, sendo possível abordar a vulnerabilidade de indivíduos, famílias e comunidades. Assim sendo, estas dimensões dizem respeito às características intrínsecas ao indivíduo, mas também àquelas sociodemográficas do meio no qual estes se inserem (CUNHA, 2006, p.4). Nesse caso, defendem os autores que na definição de vulnerabilidade social “existem três elementos importantes: a exposição a certos riscos, a capacidade de enfrentá-los e a potencialidade de que estes tragam consequências importantes para os afetados” (CUNHA *et al.*, 2006, p.5).

Da mesma forma como se propôs para os conceitos de perigo, risco e desastres, a interpretação que se utiliza neste trabalho para os conceitos de suscetibilidade e vulnerabilidade pode ser da seguinte maneira sintetizada¹³:

¹² Vulnerability is conceived as both a biophysical risk as well as a social response, but within a specific area or geographic domain.

¹³ De acordo com Cerri e Amaral (1998); Alcántara-Ayala (2002); Abreu (2003) e UNISDR (2004), dentre outros.

- Suscetibilidade: caracterizada pela possibilidade de ocorrência de um fenômeno, inerente ao sítio de ocupação, sendo a ação humana seu potencial fator de agravamento.
- Vulnerabilidade: exposição das populações aos elementos ao seu entorno, em função dos aspectos ambientais, sociais e políticos do meio, os quais determinam a vulnerabilidade das comunidades aos perigos.

2.2 – Inundações e alagamentos na análise do risco: revisão teórico-conceitual

Inundações são eventos ambientais de caráter hidrometeorológico ou hidrológico de ocorrência global (UNISDR, 2002), os quais configuram “ameaças naturais históricas do nosso planeta” (MAZOTO, 2015, p.36). Para a autora “desde a segunda metade do século XX, com o intenso processo de urbanização e industrialização e conseqüente aumento populacional e ocupação de áreas urbanas, os rios passaram a inundar com maior frequência”. Ramos (2013) considera que inundações são fenômenos hidrológicos extremos, que apresentam frequência variável, podendo ser naturais ou induzidos pela ação humana e consistem na submersão de uma área usualmente emersa. Na mesma linha, para Bloch *et al.* (2012) uma inundação ocorre quando um volume de água inunda uma área, construída ou não, antes não submersa, sendo normalmente causada por uma combinação de eventos meteorológicos e hidrológicos. Para Tucci (1997, p.667) estes eventos “acontecem quando a precipitação é intensa e a quantidade de água que chega simultaneamente ao rio pode ser superior à sua capacidade de drenagem resultando na inundação de suas áreas ribeirinhas”.

Segundo Kobiyama *et al.* (2004) as inundações e enchentes são os desastres naturais que provocam as maiores perdas humanas, enquanto Costa e Teuber (2001) entendem que tais fenômenos são inevitáveis, embora seja possível reduzir significativamente os seus impactos. Na opinião de Tavares e Silva (2008) o modelo de urbanização que se assenta sobre estas áreas próximas a corpos d’água, com o uso do espaço desordenado e não planejado, afronta a natureza e, mesmo em cidades construídas sobre relevos planos, nas quais teoricamente a infiltração seria favorecida, os resultados gerados por tais interferências são, por vezes, catastróficos. Para Esteiros (1999) as inundações são os “riscos naturais” mais ameaçadores à sociedade, associados a processos naturais ao ciclo hidrológico e à proximidade ao curso d’água, gerando danos a pessoas e bens localizados nas áreas vulneráveis a esses eventos.

A respeito do conceito de inundação, propriamente dito, Kobiyama *et al.* (2006, p.45) esclarecem:

A inundação, popularmente tratada como enchente,   o aumento do nível dos rios além da sua vazão normal, ocorrendo o transbordamento de suas águas sobre as áreas próximas a ele (...). Estas áreas planas próximas aos rios sobre as quais as águas extravasam são chamadas de planícies de inundação. Quando não ocorre o transbordamento, apesar do rio ficar praticamente cheio, tem-se uma enchente e não uma inundação. Por esta razão, no mundo científico, os termos “inundação” e “enchente” devem ser usados com diferen a o.

Os autores apresentam, portanto, uma distin o entre os termos inundação e enchente, tema sobre o qual Amaral e Ribeiro (2009, p.42) apresentam discussão pormenorizada:

Inunda o representa o transbordamento das águas de um curso d’água, atingindo a planície de inunda o ou área de várzea.

As enchentes ou cheias são definidas pela eleva o do nível d’água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão, atingindo a cota máxima do canal, porém, sem extravasar.

O alagamento   um acúmulo momentâneo de  guas em determinados locais por deficiência no sistema de drenagem.

A enxurrada   escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não estar associado a áreas de domínio dos processos fluviais.

Assim sendo, por enchente deve-se entender que se trata de eleva o do nível de água de um canal, sem extravasamento, ao passo que o transbordamento das águas invadindo a planície de inunda o¹⁴ configura uma inunda o (Figura 2.3). Alagamentos e enxurradas têm sentidos diferentes, sendo o primeiro referente ao acúmulo de água em determinada porção do espaço, com ou sem rela o com inunda es ou enchentes, ao passo que o segundo se relaciona com o escoamento pluvial superficial concentrado durante eventos de chuvas extremas.



Figura 2.3 – Enchente e inunda o, de acordo com o Ministério das Cidades/IPT (BRASIL, 2007 apud AMARAL e RIBEIRO, 2009).

¹⁴ Para Amaral e Ribeiro (2009, p.45) “a planície de inunda o, também denominada várzea,   uma área que periodicamente será atingida pelo transbordamento dos cursos d’água, constituindo, portanto, uma área inadequada   ocupa o”.

2.2.1 – Causas e condicionantes das inundações: uma síntese

As inundações, embora sejam relacionadas a eventos climáticos de precipitação elevada, possuem uma dinâmica que envolve condicionantes de origem natural e aqueles induzidos pela ação do homem. Para Amaral e Ribeiro (2009), entre as causas e condicionantes de origem natural das inundações destacam-se: (i) formas de relevo; (ii) características da rede de drenagem da bacia hidrográfica; (iii) intensidade, quantidade, distribuição e frequência das chuvas; (iv) características do solo e teor de umidade e (v) presença ou ausência da cobertura vegetal. Os autores destacam que “o estudo desses condicionantes naturais permite compreender a dinâmica do escoamento da água nas bacias hidrográficas (vazão), de acordo com o regime de chuvas conhecido” (AMARAL e RIBEIRO, 2009, p.45).

Entre os condicionantes antrópicos citam (i) uso e ocupação irregular nas planícies e margens de cursos d’água; (ii) disposição inadequada de lixo nas proximidades dos cursos d’água; (iii) alterações nas características da bacia hidrográfica e dos cursos d’água (vazão, retificação e canalização de cursos d’água, impermeabilização do solo, entre outras) e (iv) intenso processo de erosão dos solos e de assoreamento dos cursos d’água (AMARAL e RIBEIRO, 2009). A esse respeito, Kron (2002, p.82) chega a afirmar que “algumas sociedades (comunidades, estados e regiões) aprenderam a viver com inundações”¹⁵ e admite que o rápido crescimento da população mundial gerou a necessidade dos cidadãos se instalarem em regiões perigosas – referindo-se às áreas inundáveis relacionadas aos cursos d’água (KRON, 1999). Da mesma forma, Plate (2002) entende que é a pressão exercida pelo crescimento populacional que resulta na exclusão da parcela carente, a qual passa a viver em áreas de várzea.

Reis *et al.* (2012) consideram que as chuvas intensas ou aquelas de longa duração promovem a saturação dos solos, favorecendo aumento do escoamento superficial e a concentração de água nas planícies de inundação, especialmente em áreas urbanizadas. Amaral e Ribeiro (2009) lembram que o lançamento de lixo e entulho em locais inadequados, nas proximidades dos cursos d’água, acentua esses problemas, já comumente agravados pela impermeabilização dos solos por asfalto ou outras formas de selamento superficial comuns no meio urbano. Essas práticas dificultam a infiltração e contribuem para o aumento da taxa do escoamento superficial. Além disso, retificações, canalizações e assoreamento dos canais fluviais alteram a dinâmica da vazão dos cursos d’água: com a eliminação ou redução da

¹⁵ Some societies (communities, states, regions) have learnt to live with floods.

quantidade dos meandros existentes em trechos dos canais, os quais reduzem gradualmente a velocidade da água, pode ocorrer concentração dos fluxos em curto intervalo de tempo, ocasionando inundações relâmpagos (AMARAL e RIBEIRO, 2009).

2.2.2 – Tipologias e classificações das inundações

No que diz respeito à classificação das inundações, Mazoto (2015, p.38) entende que internacionalmente são tipificadas “segundo sua velocidade (*flash floods*), aspectos geográficos (como inundações costeiras) e causas (*urban floods, river floods, ponding floods*)”. Já para Castro (2003) as inundações podem ser classificadas em função do padrão evolutivo: inundações graduais, inundações bruscas, alagamentos e inundações litorâneas. O autor complementa afirmando que a maior parte das situações de emergência ou estado de calamidade pública se relacionam às inundações graduais e bruscas (CASTRO, 2003). Esta classificação, em função dos critérios adotados e por se adequar ao cenário urbano brasileiro, é adotada neste trabalho – especialmente no que diz respeito às inundações bruscas e graduais.

Castro (2003) apresenta diferenças entre inundações bruscas e graduais. Para o autor, nas inundações graduais o nível da água eleva-se de forma lenta e previsível, mantendo-se em situação de cheia durante algum tempo – transbordamento é mais lento. Em seguida o nível da água abaixa por escoamento lento e contínuo do fluxo (Figura 2.4). Lembra que, em princípio, inundações com tal natureza não são tão violentas, mas a área de impacto é extensa. São mais comuns em bacias com vales mais amplos e dotados de vertentes com menor declividade (PINHEIRO, 2007; AMARAL e RIBEIRO, 2009).

A inundações bruscas ocorre devido a chuvas intensas e concentradas. A elevação dos caudais é súbita (Figura 2.4) e o escoamento é violento (CASTRO, 2003). Transcorrem logo em sequência ao evento pluviométrico que a causa, geralmente produzindo muitas mortes, apesar da área de impacto ser bem menor do que as inundações graduais. Para Pinheiro (2007) inundações bruscas ocorrem mais comumente em bacias caracterizadas por vales encaixados, altas declividades das vertentes e escoamento torrencial.

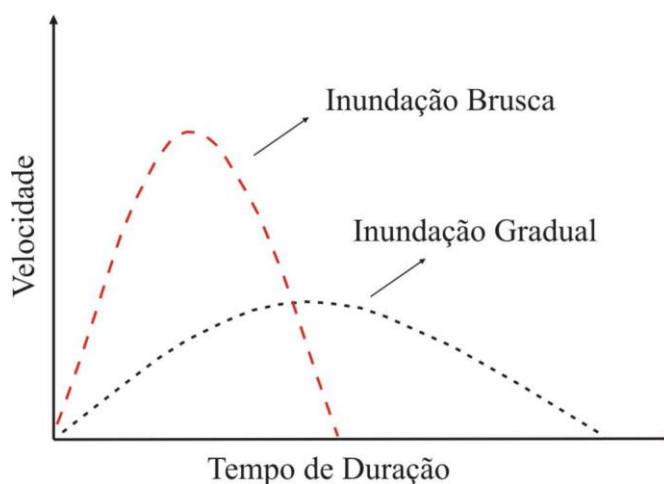


Figura 2.4 – Representação da diferença entre inundação brusca e gradual, segundo Kobiyama *et al.* (2006).

Kobiyama *et al.* (2006) advertem que não é sempre tarefa simples diferenciar inundação brusca de gradual. Para os autores:

O fato é que até hoje diversas vezes as inundações graduais vêm sendo registradas como inundações bruscas e vice-versa. Isto nem sempre é devido à falta de conhecimento, mas sim devido à dificuldade de identificação do fenômeno em campo e à ambiguidade das definições existentes. (...) O grande número de definições sobre inundações graduais e bruscas, encontrado nestas tabelas indica claramente que, como um desastre natural, é elevada a complexidade do fenômeno. Pois, além dos problemas tipicamente conceituais e etimológicos, algumas características comportamentais são similares para ambas às inundações, ou seja, ocorrem tanto nas inundações graduais como nas bruscas (KOBİYAMA *et al.*, 2006, p.47).

Além dos tipos de inundação já caracterizados, merecem destaque as inundações urbanas ou *urban floods*. Para Mazoto (2015, p.39) as inundações urbanas, na literatura internacional conhecidas como *urban floods*, “são causadas especificamente pela incapacidade do sistema de drenagem local em escoar ou drenar a quantidade de chuva que caiu em um determinado local em um determinado período”¹⁶. A autora complementa explicando que nesses casos a água transborda a calha fluvial e inunda ruas e propriedades, o que causa diversos prejuízos econômicos, além de impedir as pessoas de transitarem, irem para o trabalho e escolas – mas não costumam causar muitas perdas de vidas humanas.

Com relação a esses aspectos, para Chaves (2015, p.52):

É fato que quando as inundações ocorrem em áreas urbanas os efeitos adversos são bem mais graves, haja vista que estas são áreas que tendem a ser densamente povoadas. As constantes recorrências e os danos gerados por esses eventos em áreas urbanas brasileiras sinalizam para a reflexão da expansão

¹⁶ Essa definição não deve ser confundida com o conceito de alagamento apresentado por Amaral e Ribeiro (1992), conforme ressaltado em tópico anterior.

desses espaços que promovem a impermeabilização do solo e a ocupação das planícies inundáveis e das APPs próximas às nascentes dos rios e córregos urbanos.

Também Andrade Filho *et al.* (2000, p.71) a esse respeito, comentam:

Um dos efeitos causados pelo impacto ambiental da urbanização são as enchentes urbanas. Estas enchentes podem ser lentas ou rápidas, mas geralmente vão se avolumando no decorrer dos dias. Sobretudo quando repentinas, geram elevados prejuízos materiais e podem provocar mortes. São causadas por tromba d'água, maremoto, chuva torrencial ou rompimento de barragens.

Referindo-se aos sistemas de drenagem urbana¹⁷, Bez *et al.* (1999), avaliando a bacia do Itacorubi, em Florianópolis (Santa Catarina), destacaram que as enchentes naquela área decorrem de fragilidade do sistema de drenagem, diante, não somente das chuvas, por vezes conjugadas à maré alta, mas também devido à falta de planejamento e de fiscalização do uso do solo, em contexto de carência de programas periódicos de limpeza e manutenção dos cursos d'água naturais e artificiais.

Fritzen e Blinda (2012) apresentaram, como causa de inundações em Chapecó, Santa Catarina, entre outras, as seguintes: obstrução de bueiros por lixo e sedimentos; obras de drenagem pluvial subdimensionadas; canalização (aberta ou fechada); retificação ou dragagem sem estudo prévio; estrangulamento dos canais fluviais, principalmente nas proximidades de pontes ou trechos canalizados; e redução da capacidade do canal por assoreamento e carga de lixo lançado nos cursos d'água.

2.2.3 – Os canais fluviais e as inundações

Alguns conceitos anteriormente utilizados neste texto merecem notas, as quais muito mais objetivam lançar luz às aplicações cabíveis neste trabalho do que um esforço em estabelecer seus significados. As planícies de inundação, representadas na Figura 2.4, são compreendidas por Cunha (2011, p.213) como leito maior ou leito maior periódico sazonal, definido pela autora como aquele que “é ocupado pelas águas do rio regularmente e, pelo menos uma vez ao ano, durante as cheias”. Para a autora, “o leito maior excepcional é ocupado durante as grandes cheias, no decorrer das enchentes”¹⁸.

¹⁷ Drenagem urbana entendida como conjunto de atividade e medidas que objetivam a redução dos riscos e prejuízos oriundos das inundações, permitindo assim que o desenvolvimento urbano se dê de forma bem articulada e sustentável (TUCCI, 2009).

¹⁸ Notar o uso da expressão enchente, neste caso, como sinônimo de inundação – embora neste trabalho haja a opção de diferenciar os conceitos.

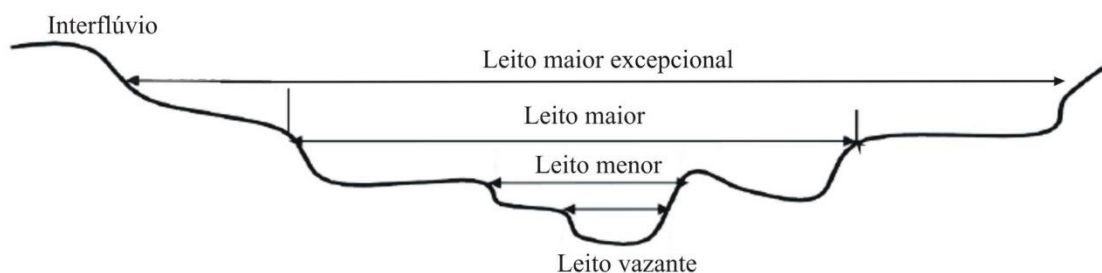


Figura 2.4– Os leitos fluviais de acordo com a frequência das descargas e topografia dos canais fluviais – modificado a partir de Oliveira e Miguez (2011).

Ainda a respeito do significado da expressão planície de inundação, Christofolletti (1981, p.75) esclarece:

As planícies de inundação conhecidas como várzeas na toponímia popular do Brasil, constituem a forma mais comum de sedimentação fluvial, encontrada nos rios de todas as grandezas. A designação é apropriada porque nas enchentes toda essa área é inundada, tornando-se o leito do rio.

As demais feições do vale fluvial podem ser assim compreendidas, ainda com auxílio da Figura 2.4:

O leito menor corresponde à parte do canal ocupada pelas águas e cuja frequência impede o crescimento da vegetação. Esse tipo de leito é delimitado por partes bem definidas. O leito de vazante equivale à parte do canal ocupada durante o escoamento das águas de vazante. Suas águas divagam dentro do leito menor seguindo o talvegue, linha de máxima profundidade ao longo do leito e que é mais bem identificada na seção transversal do canal (CUNHA, 2011, p.213).

Gouveia e Rodrigues (2016) explicam que Tricart (1966), com base na frequência das cheias e forma dos canais fluviais, propôs classificação que apresenta (i) leito menor, (ii) leito de vazante e (iii) leito maior. O leito menor corresponde e à parte do canal ocupada, frequentemente, pelas águas, em qualquer época – estação – do ano. O leito de vazante é a parte do canal ocupada durante o escoamento das águas de vazante. Encontra-se encaixado no leito menor, corresponde ao leito que escoam os menores volumes de água, nos períodos de estiagem. O leito maior é aquele ocupado pelas águas durante as cheias, e constitui-se pelo conjunto formado pelo leito menor e a planície de inundação, tendo largura definida em função das cheias (GOUVEIA e RODRIGUES, 2016).

Embora estejam claras na literatura tais definições e conceitos, Cunha (2011, p.2012), esclarece que “a delimitação entre esses tipos de leito nem sempre é fácil, pela falta de nitidez de seus limites” e que “a existência de distintos tipos de leito e as relações entre eles podem variar de um curso de água para outro ou de um setor a outro do mesmo rio”. Por esses motivos,

as áreas de sedimentação fluvial (leitos), que sofrem inundações em função de um evento hidrológico extremo, podem ser, genericamente, entendidas como várzeas, ou ainda como “zona de passagem de cheia”, conforme Carneiro e Miguez (2011, p.133). Vale lembrar que para Amaral e Ribeiro (2009) a planície de inundação é também denominada várzea.

2.3 – Os movimentos gravitacionais de massa: definição, tipologia e fatores condicionantes

Os movimentos gravitacionais de massa, em especial para este trabalho os escorregamentos, são causas de preocupações, acidentes ou desastres que podem assumir dimensões de catástrofe, especialmente quando ocorrem em áreas urbanas. Para Tominaga *et al.* (2009, p.27), escorregamentos “são processos de movimentos de massa envolvendo materiais que recobrem as superfícies das vertentes ou encostas”, mais comuns em “regiões montanhosas e serranas em várias partes do mundo”, principalmente naquelas onde predominam climas úmidos, a exemplo das regiões Sudeste, Sul e mesmo setores do Nordeste do Brasil.

Nesse cenário, Ogura *et al.* (2004) consideram que reconhecer as tipologias e os condicionantes dos escorregamentos é fundamental para avaliar os riscos de ocorrência do fenômeno. Assim, neste tópico tem-se como propósito abordar a classificação, os fatores desencadeantes e os condicionantes dos movimentos gravitacionais de massa.

2.3.1 – Definição e tipologia dos movimentos gravitacionais de massa

Para Tominaga *et al.* (2009, p.27) o “movimento do solo, rocha e/ou vegetação ao longo da vertente sob a ação direta da gravidade” é denominado movimento gravitacional de massa. Os autores destacam que “a contribuição de outro meio, como água ou gelo, se dá pela redução da resistência dos materiais de vertente e/ou pela indução do comportamento plástico e fluido dos solos”. Guerra e Marçal (2006, p.75-76), por sua vez, conceituam movimento gravitacional de massa como “o transporte coletivo de material rochoso e/ou de solo” em que “a ação da gravidade tem papel preponderante, podendo ser potencializado, ou não, pela ação da água”.

Essas definições têm em comum, dentre outros aspectos, (i) a ação da gravidade deslocando (ii) volumes de solo, rocha ou outros, (iii) podendo ou não haver contribuição de

diferente meio. Embora não pareça controversa a definição dos movimentos gravitacionais de massa, sua classificação ou tipologia é seara que divide opiniões.

Em se tratando dos movimentos de massa, para Zezêre (2005) há diversas combinações entre materiais e agentes perturbadores, o que resulta em propostas de classificações igualmente distintas. Há aquelas que se utilizam de terminologias e conceitos que integram movimentos idênticos em diferentes classes, bem como as que empregam uma mesma designação para tipificar movimentos com características desiguais. Fernandes e Amaral (1996) ponderam sobre as limitações que caracterizam todas as propostas de tipificação dos movimentos de massa, visto que estes tendem a ser mais complexos do que as classificações determinam e que os eventos podem ser caracterizados pela manifestação de várias classes, num mesmo movimento. Já Tominaga *et al.* (2009) avaliam que os movimentos de massa podem ser de diversos tipos, já que envolvem também materiais e processos variados, merecendo destaque a classificação proposta por Varnes em 1978 largamente utilizada internacionalmente, embora ressaltem que a contribuição de Augusto Filho (1992), é uma das que encontra maior respaldo nas pesquisas geomorfológicas brasileiras, segundo Tominaga *et al.* (2009) e Gerscovich (2016). Essa classificação divide os movimentos gravitacionais de massa em quatro processos, a saber: rastejo, escorregamento, queda e fluência, sendo que o segundo, foco de interesse para o escopo deste trabalho, se refere ao movimento coletivo de solo, material sólido (rochas) ou ambos, no sentido da declividade da encosta, sob a influência direta da gravidade (SELBY, 1993). Os escorregamentos são “movimentos rápidos, de porções de terrenos (solos e rochas), com volumes definidos, deslocando-se sob ação da gravidade, para baixo e para fora do talude ou da vertente” (TOMINAGA *et al.*, 2009, p.28).

Para Fornassari Filho e Infanti Jr. (1998), de modo semelhante a Fernandes e Amaral (1996) e Zêzere (2005), os escorregamentos envolvem solo, rocha ou uma intrincada combinação de ambos, podendo ainda o lixo doméstico fazer parte dos materiais deslocados. Para os autores, o volume do material que se desloca para baixo e fora da vertente gera movimentos rápidos (velozes) de duração (tempo) geralmente curta. A velocidade de ocorrência dos escorregamentos varia também em função da declividade do terreno, podendo alcançar alguns metros por segundo (TOMINAGA *et al.*, 2009). Para Guidicini e Nieble (1983), movimentos bruscos ocorrem em terrenos relativamente homogêneos, nos quais a superfície de escorregamento é mais inclinada (maior declividade).

No que se refere à dinâmica e deflagração do movimento, Guidicini e Nieble (1983) consideram que um escorregamento é deflagrado quando a força gravitacional é maior que o atrito interno das partículas do material que será movimentado. Quando o atrito é superado pela força da gravidade, a massa de solo se desloca encosta abaixo. Para tanto, a infiltração de água no solo é responsável pela a redução ou total perda do atrito entre as partículas, momento em que ocorre o escorregamento. Em outras palavras, quando o solo atinge o limite de liquidez, caracterizado por perda total do atrito entre as partículas (solifluxão), se movimenta para baixo e fora da encosta (TOMINAGA *et al.*, 2009). Para Fornassari Filho e Infanti Jr (1998) rupturas por cisalhamento ocorrem por aumento de tensões atuantes, queda da resistência do material ou ambos os casos em associações diversas.

A esse respeito, Kobiyama *et al.* (2006) explicam que escorregamentos podem ocorrer principalmente associados a elevados volumes pluviométricos, tanto em função de chuvas intensas de curta duração quanto resultantes de longos períodos (chuvas contínuas). Em ambos os casos, há condições propícias para a diminuição da resistência do solo, sendo assim a água percolante é um dos principais agentes deflagradores de movimentos de encostas em ambientes tropicais úmidos. Fernandes e Amaral (1996) explicam que rupturas ocorrem em curto intervalo de tempo, devido ao rápido aumento da umidade durante eventos pluviométricos de alta intensidade.

Tominaga *et al.* (2009) entendem que em função da geometria e a natureza dos materiais mobilizados, pode-se subdividir os escorregamentos em três tipos: rotacionais ou circulares, translacionais ou planares e em cunha. Na mesma linha, para Fernandes e Amaral (1996), escorregamentos apresentam planos de ruptura e volumes definidos, que podem apresentar forma planar, côncava ou em cunha. Quando adquirem forma planar configuram escorregamentos translacionais, já aqueles cujos planos de ruptura possuem formas côncavas são denominados escorregamentos rotacionais – *slumps*.

Os escorregamentos planares ou translacionais são, para Fernandes e Amaral (1996) e Tominaga *et al.* (2009), os mais frequentes dos movimentos gravitacionais de massa e formam superfícies de ruptura planar, associadas a solos heterogêneos e rochas dotadas de discontinuidades mecânicas e hidrológicas. Os autores consideram que esses movimentos são caracterizados por serem rasos, cujo plano de ruptura geralmente ocorre entre as profundidades de 50 centímetros a 5 metros, sendo mais extensos do que profundos (Figura 2.5).

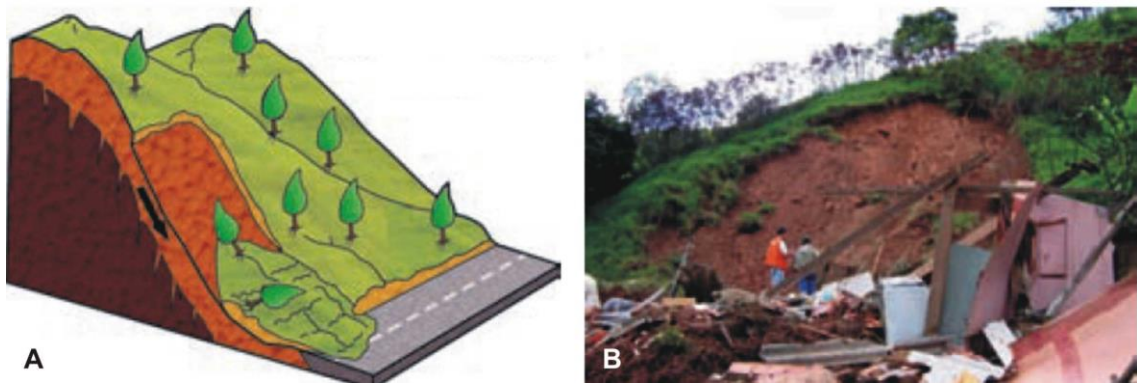


Figura 2.5 – Representação (A) e fotografia (B) de escorregamento translacional ou planar, segundo Tominaga *et al.* (2009). Observar o plano de ruptura conforme indicado por seta (A) e cicatriz que corresponde à exumação do mesmo em (B).

Estes movimentos tendem a ocorrer tanto em vertentes de alta quanto de baixa declividade, podendo atingir centenas ou até milhares de metros de comprimento (FERNANDES e AMARAL, 1996; TOMINAGA *et al.*, 2009). A largura das cicatrizes dos escorregamentos planares geralmente é de 10 a 15 metros, com profundidade de cerca de um metro e comprimento que pode chegar a 200 metros (WOLLE e CARVALHO, 1989).

No que diz respeito às características das superfícies de ruptura dos escorregamentos planares ou translacionais, Fernandes e Amaral (1996) consideram que estas tendem a acompanhar descontinuidades mecânicas e hidrológicas do meio. Essas descontinuidades são resultantes de processos geológicos, como acomodamentos ou fraturas; geomorfológicos, a exemplo de depósitos de encostas ou pedológicos, podendo ser estes contatos entre horizontes ou entre solos e rochas. Feições planares no maciço rochoso condicionam os deslizamentos translacionais, como foliação, fraturas, falhas, entre outros (FORNASSARI FILHO e INFANTI JR, 1998). Fornassari Filho e Infanti Jr. (1998) compreendem que em encostas de áreas serranas caracterizadas por mais elevadas declividades e solos rasos, estes escorregamentos mobilizam horizontes de solo geralmente até o contato com a rocha alterada ou sã. Já em taludes, mobilizam o solo saprolítico que pode conter também rocha fragmentada.

Segundo Fernandes e Amaral (1996) estes escorregamentos podem ser classificados quanto ao material transportado: escorregamentos translacionais de rocha, de solo residual¹⁹,

¹⁹ Para algumas áreas do conhecimento, sobretudo nas engenharias ou mesmo na geologia, os solos são divididos em residuais e sedimentares. Os primeiros evoluem do material *in situ*, ao passo que os segundos requerem transporte (MENDES, 2008). Já para Tominaga (2007) trata-se do horizonte de solo formado pela alteração da rocha matriz *in situ*, que evolui pela atuação de processos pedogenéticos que promovem mudanças mineralógicas

de tálus/colúvio e de detritos (incluindo o lixo) ou uma mistura de ambos. Para Nos escorregamentos translacionais de rocha, a movimentação ocorre nos planos de fraqueza que correspondem à estruturação geológica, como, estratificação, xistosidade, gnaissificação, acamamento, falhas, juntas de alívio de tensões e outras. Quando os escorregamentos mobilizam solo e rocha, a massa transportada costuma apresentar volume rochoso significativo, especialmente quando envolvem massas de tálus, em colúvios (TOMINAGA *et al.*, 2009).

Os escorregamentos circulares ou rotacionais ocorrem quando a superfície de ruptura se caracteriza por curva côncava ao longo da qual ocorre movimento rotacional do perfil do solo (FERNANDES e AMARAL, 1996; HIGHLAND e BOBROWSKY, 2008; TOMINAGA *et al.*, 2009), conforme representação na Figura 2.6. Para Fernandes e Amaral (1996) estes geralmente ocorrem em solos espessos e homogêneos, tendo início, muitas vezes, a partir de cortes na base das encostas – ou por erosão fluvial no sopé das vertentes. Nestes casos, o movimento apresenta rotação em torno do seu centro de gravidade ou em torno de um eixo paralelo ao talude.

Para Fornassari Filho e Infanti Jr (1998), podem se formar múltiplas superfícies de ruptura, combinadas e sucessivas (Figura 2.6 – B), casos nos quais os escorregamentos são capazes de assumir proporções catastróficas, quando ocorrem de modo súbito (TOMINAGA *et al.*, 2009). Segundo Guidicini e Nieble (1983), no Brasil, escorregamentos rotacionais são também comuns e geralmente catastróficos.

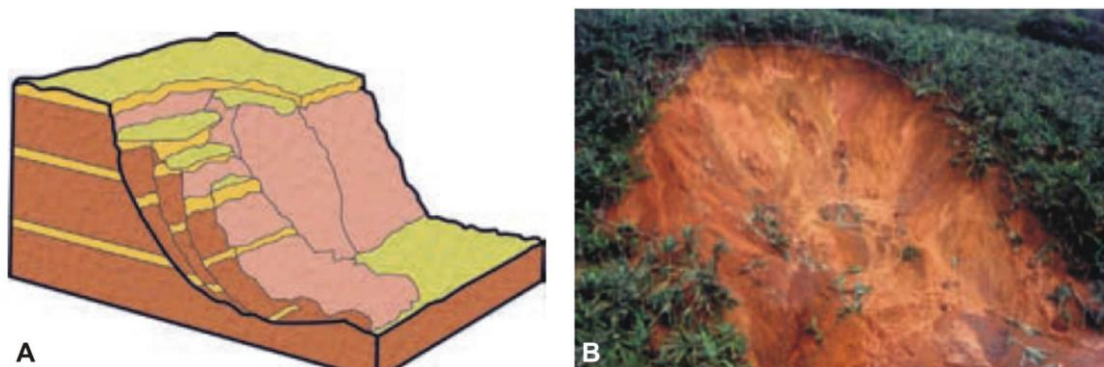


Figura 2.6 – Representação esquemática (A) e fotografia (B) de escorregamento rotacional, segundo Tominaga *et al.* (2009). Observar o plano de ruptura em forma côncava em A e cicatriz que corresponde ao afloramento do mesmo em B.

e transporte de partículas de solo. Em função disso, as estruturas reliquias e feições da rocha matriz estão, em geral, ausentes.

Os escorregamentos em cunha, em princípio de natureza mais específica, são restritos a áreas que apresentam relevo fortemente controlado pela estruturação geológica, associados a maciços rochosos em diferentes estágios de alteração, nos quais duas estruturas planares condicionam o deslocamento de um prisma ao longo do eixo de interseção dos planos estruturais – Figura 2.7 (TOMINAGA *et al.*, 2009).

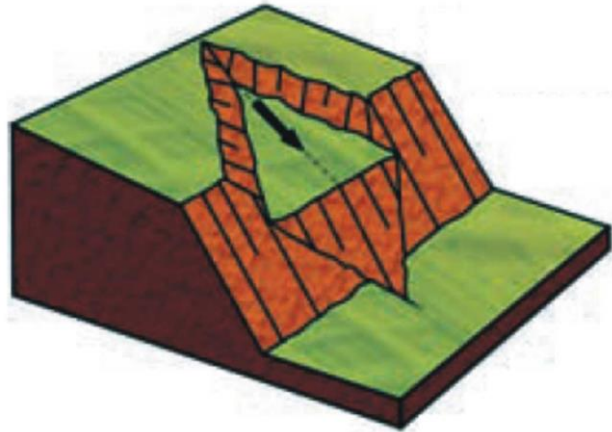


Figura 2.7 – Representação esquemática de escorregamento em cunha, segundo Tominaga *et al.* (2009). Notar a morfologia do material deslocado e da superfície de deslocamento, as quais indicam controle estrutural.

Para Infanti Jr e Fornasari Filho (1998), estes movimentos ocorrem em taludes de corte ou encostas que sofreram desconfinamento natural ou antrópico, que tenham causado instabilidade e mobilização ao longo dos planos estruturais.

2.3.2 – Os fatores condicionantes dos movimentos gravitacionais de massa

A ocorrência de um movimento gravitacional de massa resulta, em geral, da combinação de fenômenos naturais e induzidos, os quais podem se associar de distintas maneiras. Em função da heterogeneidade da natureza destes fenômenos, Zêzere (2005) considera que os movimentos de massa são, na maior parte dos casos, extremamente complexos, sendo suas causas múltiplas e simultâneas.

Apesar das classificações que permitem identificar as características mais comuns para a ocorrência dos diversos movimentos gravitacionais de massa, Fernandes *et al.* (2001, p.53), esclarecem que: “a aplicação direta desses sistemas de classificação aos movimentos observados na natureza não é tarefa simples” e que:

(...) além das dificuldades derivadas das atividades antrópicas e das rápidas transformações que ocorrem nas cicatrizes dos deslizamentos, há problemas associados à própria complexidade dos fenômenos, onde muitos movimentos são deflagrados como escorregamentos translacionais e se transformam gradativamente em corridas de massa devido ao excesso de água (FERNANDES *et al.*, 2001, p.53).

Sobre as causas da mobilidade de materiais nas vertentes, na opinião de Zêzere (2005, p.62), “tentar definir qual delas é responsável pela ruptura pode ser, não só difícil, como incorreto”, visto que “frequentemente, o fator final não é mais do que um mecanismo desencadeante (*triggering factor*) que coloca em movimento uma massa que se encontrava já no limiar da ruptura”. Por esse motivo, entende o autor que os movimentos que ocorrem nas vertentes devem ser analisados com base na existência de fatores condicionantes dos movimentos. Segundo Tominaga *et al.* (2009, p.34) a ocorrência de escorregamentos é determinada por fatores condicionantes, os quais “correspondem principalmente aos elementos do meio físico e, secundariamente do meio biótico” que contribuem para o desencadeamento dos eventos.

Para Crozier (1986) são três os fatores que desencadeiam os movimentos gravitacionais de massa: os agentes preparatórios; os deflagradores e os controladores, enquanto para Guidicini e Nieble (1983) estes se resumem em dois: os agentes predisponentes e efetivos. Estes autores lembram que os agentes predisponentes e os efetivos são parte da dinâmica dos processos naturais.

Os primeiros, agentes predisponentes, correspondem ao conjunto de condições geológicas, topográficas e ambientais da área onde se desenvolve o movimento de massa. Tominaga *et al.* (2009, p.34) reforçam que os agentes predisponentes são “as condições naturais dadas pelas características intrínsecas dos materiais, sem a ação do homem”.

Zêzere (2005, p.62) reconhece esses agentes sob a nomenclatura de fatores de predisposição dos movimentos de massa, os quais “são estáticos e inerentes ao terreno”, mas “condicionam o grau de instabilidade potencial da vertente e determinam a variação espacial do grau de susceptibilidade do território à instabilidade”. Os agentes predisponentes (ou fatores de predisposição) podem ser divididos em fatores geológicos e fatores morfológicos e morfométricos, conforme Quadro 2.1.

Quadro 2.1 – Os fatores de predisposição dos movimentos gravitacionais de massa, segundo ZÊZERE (2005).

FATORES DE PREDISPOSIÇÃO	DESCRIÇÃO
<p style="text-align: center;">Geológicos</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Presença de rochas argilosas com comportamento mecânico plástico - Presença de depósitos sedimentares não consolidados ou fracamente consolidados - Presença de solos pouco espessos assentes sobre rochas maciças, impermeáveis - Presença de rochas alteradas, esmagadas ou fissuradas - Descontinuidades estruturais concordantes com o declive. - Contrastes na permeabilidade e seus efeitos no regime hidrológico dos terrenos.
<p style="text-align: center;">Morfológicos e Morfométricos</p>	<ul style="list-style-type: none"> - A forma e declive das vertentes.

Além dos agentes predisponentes, existem os agentes efetivos – para Zêzere (2005) fatores desencadeantes, que podem ser definidos como aqueles que se referem:

(...) ao conjunto de fatores diretamente responsáveis pelo desencadeamento do movimento de massa, incluindo-se a ação humana. Podem ser agentes efetivos preparatórios como: pluviosidade, erosão pela água ou vento, oscilação de nível dos lagos e marés e do lençol freático, ação de animais e ação humana como desmatamento, entre outros. Podem se tratar também de agentes efetivos imediatos como: chuva intensa, erosão, terremotos, ondas, vento, interferência do homem etc. (TOMINAGA, *et al.*, 2009, p. 34).

Tominaga *et al.* (2009) e Guidicini e Nieble (1983), compreendem os agentes efetivos dos movimentos gravitacionais de massa como conjunto de elementos deflagradores dos fenômenos, estando entre estes a ação do homem sobre o meio. Subdividem os agentes efetivos em preparatórios e imediatos, sendo que os primeiros podem ser exemplificados por meio de pluviosidade, ação de cursos d'água, oscilações do lençol freático e ação humana.

Para Guidicini e Nieble (1983) são agentes efetivos imediatos aqueles que se tratam de fatores desencadeantes da mobilidade, representando a causa imediata da instabilidade, assim como determinam o ritmo temporal dos movimentos de vertente, sendo exemplos destes: chuvas intensas, fusão de neve e gelo, erosão, terremotos, ondas, ventos ou ação do homem, dentre outros, conforme Quadro 2.2.

Quadro 2.2 – Agentes dos movimentos gravitacionais de massa para Guidicini e Nieble (1983), conforme síntese de Reckziegel (2012).

AGENTES	Predisponentes	Condições geológicas (mineralógica, tectônica e estratigráfica); geomorfológicas (inclinação e forma das vertentes) e climatológicas (regime hidrológico), além da ação gravitacional, calor e vegetação	
	Efetivos	Preparatórios	Pluviosidade, erosão pela água e vento, congelamento e degelo, variação de temperatura, dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação do nível de lagos e marés e do lençol freático, ação de animais e humana, inclusive desflorestamento
		Imediatos	Chuvas intensas, fusão de gelo e neve, erosão, terremotos, ondas, ventos, ação do homem, etc.

Em síntese, os fatores ou agentes preparatórios ou predisponentes²⁰ são aqueles que tornam a encosta suscetível à ocorrência do movimento inicial, mas não necessariamente desencadeiam o fenômeno. Estão associados a condições ambientais da vertente ou encosta, a exemplo do substrato litoestrutural ou características morfométricas. Já os fatores desencadeantes dão início, deflagram o movimento ou, em outras palavras, tornam as encostas ativas, dentre os quais se inclui a atividade antrópica, como aspecto que induz o movimento (GUIDICINI e NIEBLE, 1983; CROZIER, 1986; AUGUSTO FILHO e VIRGILI, 1998).

2.3.3 – Considerações sobre o crescimento urbano e a suscetibilidade a escorregamentos

A urbanização ocorrida na maior parte dos países subdesenvolvidos se deve, em grande parte, à matriz de industrialização periférica tardia na qual, via de regra, revelou-se insuficiente o empenho do poder público em gerar condições adequadas de assentamento das populações (FERREIRA, 2000). Resultou disso a produção do risco no espaço urbano, uma vez que os riscos aos quais as populações estão submetidas são também decorrentes da produção desigual das cidades (CARMO, 2014):

Os desastres, assim como as cidades, são socialmente construídos. Os desastres, em sua maioria, são reveladores de quais espaços, econômico e social, estão reservados para os diferentes grupos sociais. E em que medida

²⁰ Neste trabalho opta-se pela classificação de Guidicini e Nieble (1983), convencionando-se o uso do conceito agente predisponente.

cada um desses grupos sociais está exposto aos riscos de desastres (CARMO, 2014, p. 01).

A esse respeito, Benedet (2015) esclarece que, ao longo da formação das cidades, se produziu uma transferência de um problema social das planícies para as encostas, executado sem conhecimento das características do relevo em morros, gerando ocupação em áreas de risco. Na opinião da autora, a partir da década de 1970, com o predomínio da população urbana no Brasil, a concentração habitacional desvinculada de planejamento urbano induziu “populações a ocupar áreas de morros e planícies de inundação, configurando áreas de risco” (BENEDET, 2015, p.82). A conclusão é que a “ação humana por negligência (...) colabora na construção das situações de risco de movimentos de massa por intermédio do ambiente edificado e organização do espaço no entorno da moradia” (BENEDET, 2015, p.83).

Nesse cenário, é importante considerar que tanto a formação e quanto o crescimento das cidades inevitavelmente produzem alterações significativas no ambiente natural, o que leva Nery (2011) a discutir os avanços recentes dos métodos de avaliação e monitoramento para previsão de desastres. Kobiyama *et al.* (2003) ressaltam que o ideal a ser perseguido seria o impedimento de danos por meio de previsão perfeita, mas as possibilidades alcançáveis estão ainda no campo da redução dos impactos, isto é, mitigação destes. Valencio (2009, p.180) contribui ao lembrar que os “perigos preexistentes se somam àqueles que são produzidos *a posteriori*, incluindo as práticas estabelecidas na própria fixação, sem serem devidamente identificados e discutidos”. Tornam-se de difícil previsão os resultados das alterações promovidas pela ocupação irregular em áreas inadequadas, panorama em que Torres (2000) conclui que muitos problemas ambientais nas cidades estão relacionados a fontes difusas, sendo a somatória destes os inúmeros efeitos de degradação do ambiente urbano.

García-Tornel (1984), por sua vez, aponta a urbanização como risco para cidadãos, uma vez que quando o crescimento urbano avança sobre os entornos das cidades leva à ocupação de áreas que não apresentam características ambientais adequadas – como as encostas. Cita como resultados adversos do modelo de urbanização os movimentos gravitacionais de massa, os quais resultam de denudação das encostas e impermeabilização dos solos, alterando a drenagem e infiltração da água das chuvas.

Já Bigarella e Passos (2003, p.1035-1038) enfatizam que:

A ação antrópica tem tido uma participação ponderável na desestabilização das vertentes da paisagem moderna. O homem ultimamente está alterando as vertentes de tal forma que ocasionalmente vastas áreas procuram um novo equilíbrio através de extensas movimentações de massa.

De modo complementar, Pinto *et al.* (2015) entendem que uso e ocupação do solo são processos que influenciam na dinâmica natural das encostas. No entanto, relatam que:

(...) embora ocorram alguns casos de interferência no sentido de diminuir os movimentos de massa e seus efeitos, geralmente as diversas atividades realizadas pelo homem como desmatamentos, recortes nos terrenos, aterros para construção, retificação de canais fluviais, entre outras, acabam por interferir no equilíbrio das vertentes, induzindo a ocorrência desses processos, por vezes culminando em efeitos catastróficos (PINTO *et al.*, 2015, p.113-114).

O crescimento urbano indiscriminado, concentrado muitas vezes em áreas desfavoráveis e desacompanhado de planejamento do uso do solo e de técnicas adequadas de estabilização, propaga a ocorrência de movimentos de massa, que muitas vezes se tornam desastres. Polivanov e Barroso (2011) acrescentam que, em períodos de pluviosidade elevada e concentrada, as encostas existentes nas cidades são frequentemente palco de escorregamentos, enquanto Freitas *et al.* (2016, s.p.) consideram os escorregamentos como eventos naturais, mas entendem que alterações antrópicas junto ao relevo “resultam em uma maior frequência desses acontecimentos, que, por vezes, são catastróficos”. Nesse cenário, Kobiyama *et al.* (2006, p.54) destacam que “escorregamentos nas encostas urbanas vêm ocorrendo com uma frequência alarmante”, e a “principal causa é a ocupação desordenada de áreas que apresentam elevada susceptibilidade a escorregamentos”.

Fernandes e Amaral (1996) e Tominaga (2007) ressaltam que o homem tem importante ação como agente modificador da dinâmica natural do relevo e, como consequência, altera a estabilidade das vertentes. Tominaga (2007) afirma que a ocupação humana sobre as encostas tem provocado inúmeros acidentes, especialmente as regiões serranas brasileiras. Para estes autores, escorregamentos são induzidos por obras de construção de vias de acesso, desmatamento, mineração, acúmulo de lixo, lançamento de águas servidas e outros causadores de danos. Além dessas ações, Augusto Filho e Virgili (1998) citam vazamento nas redes de abastecimento e esgoto, construção de fossas, cortes de taludes com geometria inadequada (altura e inclinação), aterros (mal executados e com compactação insuficiente ou incorreta), vibrações (tráfego ou explosões) como ações que contribuem para a ocorrência de escorregamentos. Já Guerra e Cunha (2003) entendem que as encostas, quaisquer que sejam, possuem características próprias, mas aquelas situadas nas cidades passam por inúmeras transformações ao longo do tempo, modificações essas são capazes de torná-las distintas daquelas situadas em áreas rurais.

Pedron *et al.* (2004) enfatizam não apenas as modificações na forma e dinâmica superficial das vertentes, mas as alterações produzidas pela urbanização sobre os solos em ambientes urbanos. Para os autores, a urbanização afeta a morfologia dos solos nas cidades, que se tornam compactados e mais suscetíveis à ação de processos erosivos e movimentos gravitacionais de massa. Cursio *et al.* (2004) entendem que resultam disso solos caracterizados por menor resiliência e comportamentos geotécnicos distintos, especialmente quando ocorre ocupação em ambientes instáveis, o que gera áreas vulneráveis a desastres socionaturais (PEDRÓN *et al.*, 2004).

2.4 – Estabilidade das vertentes

A partir da apreciação do tópico anterior torna-se possível concluir que os escorregamentos têm condicionantes de origem natural ou induzidos, os quais dependem de uma intrincada relação entre características do terreno e pressões oriundas da ocupação territorial (AUGUSTO FILHO, 1995; FERNANDES *et al.*, 2001; ZÉZERE, 2001; FARAH, 2003; ALHEIROS *et al.*, 2004, entre outros). Além disso, a vertente²¹, como palco de ocorrência dos movimentos gravitacionais de massa, torna-se objeto de análise, e para Caseti (2005)²², a relevância de se estudá-la assim se justifica:

Uma vertente contém subsídios importantes para a compreensão dos mecanismos morfogenéticos responsáveis pela elaboração do relevo na escala de tempo geológico (propriedades geoecológicas), permitindo entender as mudanças processuais recentes (processos morfodinâmicos), na escala de tempo histórico, se individualizando como palco de transformações sócio-reprodutoras (CASSETI, 2005, s.p.).

Nesse sentido, sendo a vertente palco dos escorregamentos, para Fernandes *et al.* (2001) a identificação das feições e origens das formas do relevo permite determinar os processos que atuaram no passado e, dessa forma, o conhecimento dos fatores condicionantes nos movimentos nas vertentes possibilita identificar a localização espacial e temporal dos escorregamentos. Segundo os autores, os escorregamentos são condicionados por complexas relações entre (i) fatores geológicos; (ii) geomorfológicos; (iii) climáticos e (iv) antrópicos, dentre outros. No

²¹ Para Christofolletti (1981) a vertente é uma forma tridimensional modelada pelos processos de denudação, atuantes no presente ou no passado, representando a conexão dinâmica entre o interflúvio e o fundo do vale (talvegue). Já para Hogan *et al.* (1991), em sentido mais amplo, vertente é toda superfície natural inclinada e, de acordo com Guerra e Cunha (2003), seu estudo é importante, na medida em que são ocupadas e modificadas pelas mais diversas modalidades de uso do solo. Para os autores, as vertentes se desenvolvem por meio da denudação, dos processos intempéricos, da erosão e dos movimentos gravitacionais de massa (CHRISTOFOLLETTI, 1981; HOGAN *et al.*, 1991; GUERRA e CUNHA, 2003).

²² Disponível em www.funape.org.br/geomorfologia.

que diz respeito aos fatores de cunho geomorfológico, os quais costumam ser denominados como parâmetros topográficos, os autores consideram que estes:

(...) tratam das relações entre a forma e a hidrologia (superficial e sub-superficial) da encosta, englobando parâmetros tais como: declividade, forma da encosta (tanto em perfil quanto em planta), área de contribuição, orientação das encostas (aspecto), espessura do solo, comprimento da encosta, (as)simetria dos vales e elevação (FERNANDES *et al.*, 2001, p.53).

Em síntese, estabelecem que as relações entre forma e mecanismos hidrológicos da encosta são principalmente definidas por fatores de cunho geológico; climático; antrópico e geomorfológico, estes últimos objetos de abordagem neste tópico, com destaque para a declividade, forma da encosta e características morfológicas dos solos das vertentes.

Fernandes *et al.* (2001) sugerem a existência de limites críticos de declividade²³ que condicionam a ocorrência de deslizamentos, uma vez que a partir de tais limites (em se aumentando a declividade) a tendência de ocorrência do movimento é ampliada. Esse limite, contudo, não é um parâmetro comum a todas as vertentes, visto que essa situação exige a relação com outros parâmetros, a exemplo da espessura do solo, foliação metamórfica ou mesmo fraturas de alívio de tensão. Opiniões semelhantes são as de Wolle e Carvalho (1989) e Cruz (1990), que associaram o aumento da declividade ao incremento da suscetibilidade a escorregamentos. Já Mascaró (1997) propõe limitações ao uso e ocupação das vertentes em função da declividade, entendida como fator de risco. Assim, declividades iguais ou superiores a 8% impõem restrições ao uso, enquanto vertentes com 16% a 30% de declividade devem ter uso ainda mais limitado. Encostas com declividades superiores a 30% necessitam ser consideradas inadequadas ao uso e ocupação (MASCARÓ, 1997).

Para Dias e Herrmann (2002) a declividade favorece o deslocamento de massas de solo e blocos de rocha ao longo das encostas, em função da gravidade e, assim como Saito (2004), ponderam que nem sempre o maior número de movimentos ocorre nas áreas mais íngremes, visto que há variações no tipo de cobertura vegetal. Além disso, terrenos mais íngremes geralmente são constituídos por afloramentos rochosos desprovidos de cobertura superficial.

No entanto, avaliam que:

²³ Muñoz (2005) explica que a variável geomorfológica declividade fornece a medida de inclinação (em graus ou percentual) do relevo em relação ao plano horizontal. Está diretamente relacionada à velocidade de deslocamento de material e à capacidade de transporte de massas sólidas e líquidas no terreno. Para Christofolletti (1981) a declividade é de grande importância nos processos geomorfológicos, uma vez que condiciona os cursos de água e o deslocamento do colúvio.

(...) as áreas de dissecação que apresentam forte incisão dos vales junto às encostas íngremes são as mais susceptíveis a movimentos de massa. A forma das encostas também é um fator importante. Encostas retilíneas são as mais perigosas, por apresentarem uma declividade relativamente constante ao longo de seu perfil, o que facilita o rápido deslocamento dos materiais superficiais. Além disso, a forma das encostas atua indiretamente, gerando zonas de convergência e divergência dos fluxos d'água superficiais e subsuperficiais (DIAS e HERRMANN, 2002, p.57).

Christofolletti (1981) entende que a declividade tem importância nos processos geomorfológicos, uma vez que nas áreas com declives superiores a 30° os riscos de escorregamentos são mais frequentes. No entanto, Fernandes *et al.* (2001) alertam que em feições caracterizadas por declividades menos acentuadas – geralmente entendidas como de baixa susceptibilidade a escorregamentos – com alguma frequência há evidências de movimentos gravitacionais de massa no campo, o que evidencia que outros fatores condicionantes devem ser também considerados.

Nessa perspectiva, a declividade deve ser considerada, embora não como único elemento de análise para a determinação de áreas suscetíveis a escorregamentos. Isso se justifica uma vez que a morfologia da encosta, dentre outros, é parâmetro cuja avaliação se reveste de tanta importância quanto a declividade. Para Bispo *et al.* (2011) além da declividade, as curvaturas (vertical e horizontal) da vertente merecem destaque. Segundo os autores:

(...) a primeira se refere ao caráter convexo/côncavo do terreno quando analisado em perfil, e a última, ao caráter divergente/convergente dos fluxos de matéria sobre o terreno quando analisado em projeção horizontal. A combinação de ambas caracteriza a forma do terreno (BISPO *et al.*, 2011, p.468).

Em síntese, a morfologia das encostas reflete na distribuição da umidade. Dessa maneira, em vertentes convexas a água subterrânea é dispersada e as pressões neutras são menores do que em outros locais, ao passo que as encostas côncavas tendem a concentrar a água de recarga e, assim, são mais propícias a apresentarem elevação do nível freático e desenvolver pressões mais elevadas (BISPO *et al.*, 2011).

Por se tratar de um ambiente tridimensional e complexo, a forma da encosta é analisada em perfil (curvatura vertical) e planta (curvatura horizontal). A esse respeito, Bispo *et al.* (2001), explicam que esse conjunto de fatores “configura ambientes com diferentes características físicas e biológicas”. Nesse contexto, “a curvatura vertical refere-se ao caráter convexo/côncavo do terreno quando analisado em perfil”, ao passo que “a curvatura horizontal corresponde ao caráter divergente/convergente dos fluxos de matéria sobre o terreno, quando analisado em projeção horizontal” (BISPO *et al.*, 2011, p.471).

Segundo Afonso e Silva (2013) a curvatura em perfil (Figura 2.8) permite avaliar como ocorrem os fluxos hidrológicos nas encostas: na maioria dos casos, quanto mais íngreme a encosta, menor será a infiltração e maior o volume do escoamento superficial das águas da chuva, havendo menor acúmulo de água e de materiais no terreno – isso pode implicar em menores quantidades de umidade como elemento desencadeador de escorregamentos.

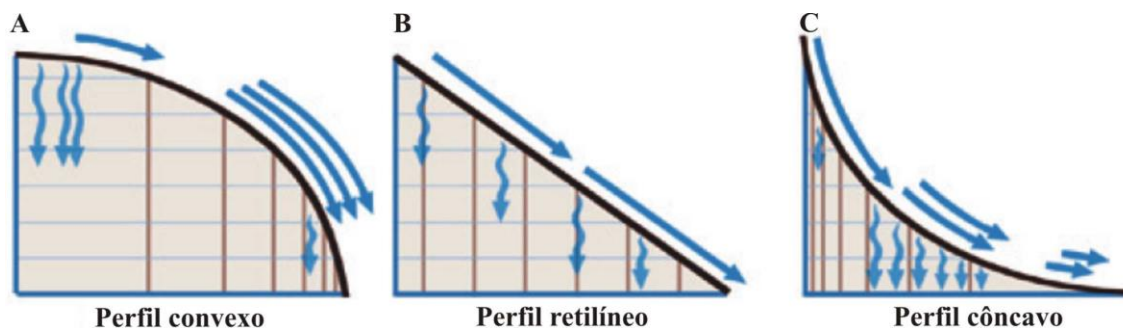


Figura 2.8 – A forma das vertentes – em perfil – e os fluxos de água, segundo Afonso e Silva (2013). Em perfis côncavos – A – os fluxos superficiais tendem a superar a infiltração na média vertente. Situação distinta ocorre em perfis retilíneos – B – cujos fluxos tendem a se equilibrar. Já nos perfis convexos, que tendem a apresentar segmentos de rampa de acumulação de águas das chuvas, a infiltração é favorecida na média vertente – em C. Afonso e Silva (2013).

Para Afonso e Silva (2010), nos segmentos menos inclinados ou mesmo horizontais, a velocidade de escoamento é menor, o que proporciona a infiltração dos fluxos do solo. Além disso, as autoras consideram que “o formato dos perfis topográficos influi na hidrologia de encostas”. Nos casos de vertentes com “perfil convexo, mais água infiltra no topo, mas no segmento íngreme podem surgir fluxos fortes, o que pode explicar a ocorrência de afloramentos rochosos nesses trechos” (Figura 2.8 – A). Já nos casos de “encostas com perfis côncavos, a infiltração é menor no topo, mas tende a aumentar em direção à base da encosta”, conforme Figura 2.8 – C (AFONSO e SILVA, 2013, p.143).

Na opinião de Valadão (2010) muitas das características morfométricas das vertentes desempenham papel fundamental na sua própria esculturação por processos exógenos e, nesse contexto, reentrâncias e saliências do relevo assumem características morfométricas e funcionais diversas. Na opinião do autor, as reentrâncias do relevo, do ponto de vista de funcionalidade geomorfodinâmica, são feições concentradoras do escoamento pluvial, sendo denominadas, por essa razão, encostas coletoras (Figura 2.9 – quadrante II). Por outro lado, as saliências do relevo atuam de modo diverso das reentrâncias, pois são dispersoras do escoamento pluvial, assim encostas distribuidoras de água (Figura 2.9 – quadrante III). Correspondem às porções de vertente em que os movimentos gravitacionais de massa

apresentam magnitude e intensidade reduzidas. As encostas que apresentam perfil côncavo, sejam elas coletoras ou distribuidoras, caracterizam-se pelo predomínio do escoamento superficial pluvial, por essa razão são consideradas encostas de lavagem, conforme Figura 2.9 – quadrante I (VALADÃO, 2010). Essas considerações encontram respaldo em Afonso e Silva (2013) que também discutem as relações entre a forma da vertente e o comportamento dispersor ou concentrador de águas que estas podem assumir.

Nesse sentido, Caseti (2005) explica²⁴:

Bloom (1970), utilizando-se dos modelos geométricos de vertente de Troeh (1965), divide os quatro principais tipos de encostas em dois grupos (...): a) “coletoras de água”, com contornos côncavos (quadrantes I e II); e b) “distribuidoras de água”, com contornos convexos (quadrantes II e IV). O eixo vertical do diagrama separa as encostas com perfis convexos, que facilitam o desenvolvimento do rastejamento (quadrantes II e III), das encostas com perfis côncavos, que favorecem a lavagem pela água das chuvas (quadrantes I e IV).

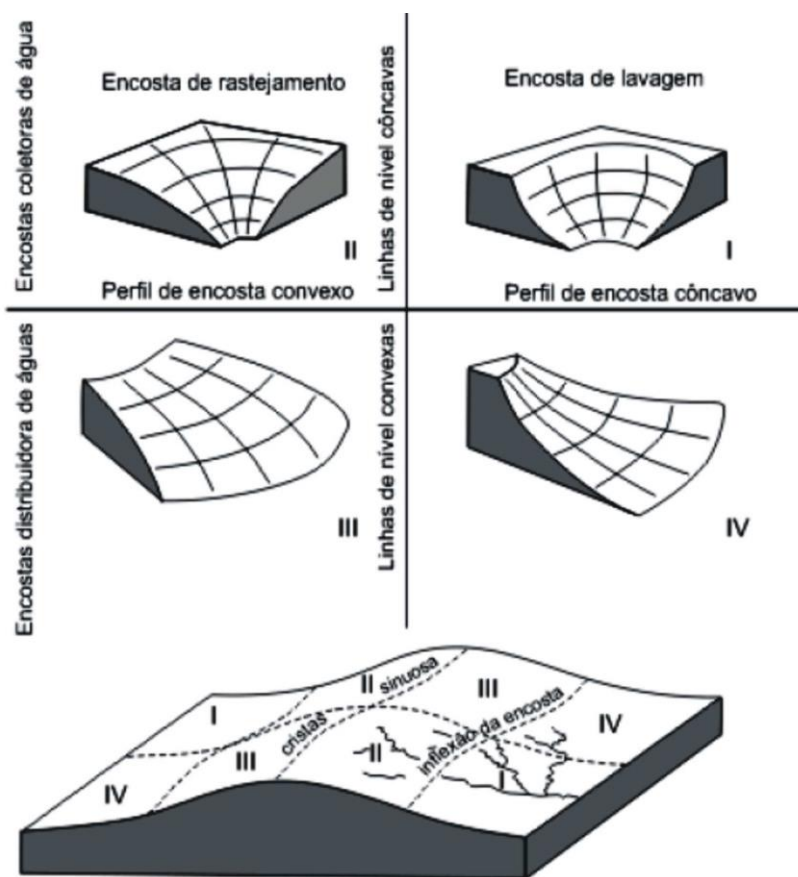


Figura 2.9 – Classificação dos elementos de uma encosta de acordo com a forma e processos operantes segundo Throe (1965) *apud* Caseti (2005).

²⁴ O autor se utiliza daquela que aqui se apresenta como Figura 2.7.

Bispo *et al.* (2011) e Afonso e Silva (2013) ensinam que, combinadas, as características verticais e horizontais das encostas influenciam o modo como ocorrem os fluxos hidrológicos e de materiais ao longo das mesmas, e, assim como Valadão (2010) sintetizam que as encostas com contornos côncavos favorecem a convergência de águas, enquanto que as encostas de contornos convexos são dispersoras de água. Nesses casos, as situações mais extremas são as que combinam (i) formas convexas em perfil com contorno convexo, que determinam fluxos divergentes e máxima dispersão de fluxos e de materiais (Figura 2.10 – 5), e (ii) formas côncavas em perfil com contorno côncavo, que condicionam fluxos convergentes e caracterizam máxima concentração de água (Figura 2.10 – 9), levando a maior erosão e transporte nas áreas próximas ao topo, além de maior acúmulo de materiais e infiltração próximo à base.

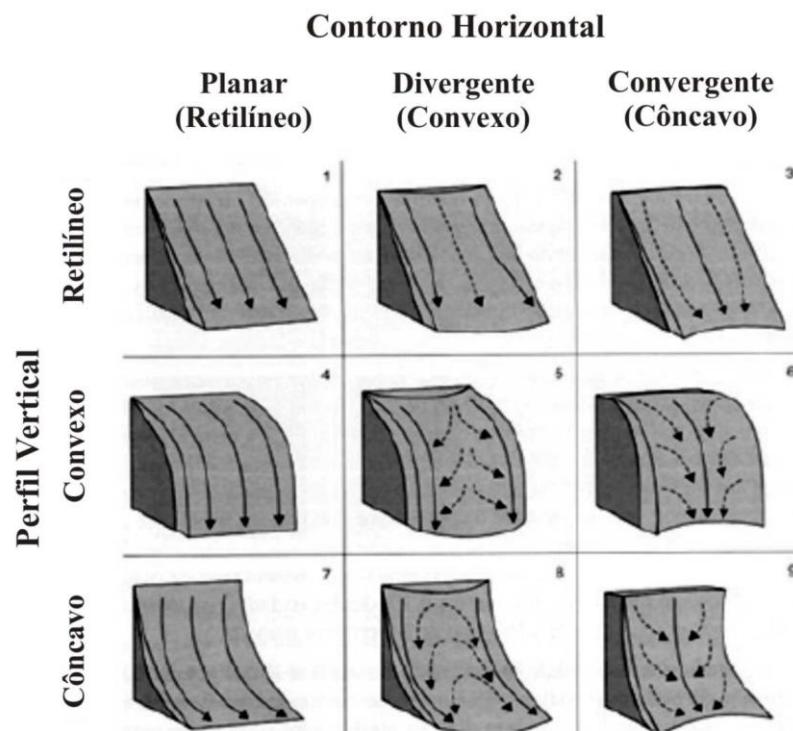


Figura 2.10 – Combinação de perfis verticais e contornos horizontais das formas de relevo (VALERIANO, 2008 – adaptado de RUHE, 1975). Extraído de Afonso e Silva (2013).

Para Ruhe (1975 *apud* VALERIANO, 2008), os segmentos das vertentes apresentados neste modelo (em perfil x em planta) são apresentados de acordo com a seguinte chave (Figura 2.12):

1: Retilíneo (R) x Planar (P);

- 2: Retilíneo (R) x Divergente (D);
- 3: Retilíneo (R) x Convergente (C);
- 4: Convexo (CX) x Planar (P);
- 5: Convexo (CX) x Divergente (D) = máximo de dispersão de fluxos;
- 6: Convexo (CX) x Convergente (C);
- 7: Côncavo (CC) x Planar (P);
- 8: Côncavo (CC) x Divergente (D);
- 9: Côncavo (CC) x Convergente (C) = máximo de concentração de fluxos.

Valeriano (2008) desenvolveu uma representação gráfica dessa classificação baseada nas formas do terreno (Figura 2.11), que apresenta as mesmas nove classes. Ainda que se tratem princípios idênticos, a proposta apresenta caráter didático e potencial prático, por essas razões recebe destaque.

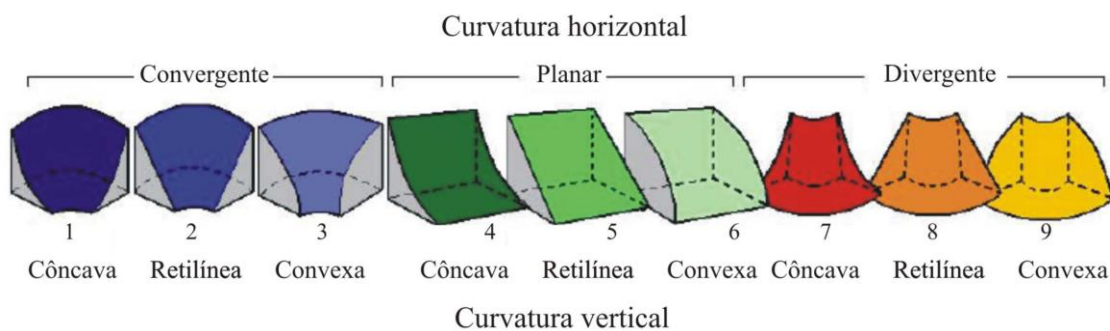


Figura 2.11 – Classes de forma do terreno conforme Valeriano (2008).

A respeito do modelo de classificação das formas do terreno que levam em conta as curvaturas horizontal e vertical das vertentes, Valadão (2010) estabelece importantes observações: (i) tanto elementos convexos quanto côncavos da vertente podem, em função da sua estruturação tridimensional, atuar como coletores ou distribuidores de água; (ii) as encostas que se caracterizam por perfil convexo, sejam elas coletoras ou distribuidoras, podem estar submetidas ao rastejo; (iii) uma vertente pode apresentar ora porções convexas, ora côncavas, ora saliências, ora reentrâncias e assim formar uma trama morfológica complexa; (iv) o eixo central de uma reentrância é comumente ocupado por uma linha de talvegue e (v) as linhas de interflúvio demarcam claramente no relevo o posicionamento das saliências.

Sintetizando, Fernandes *et al.* (2001, p.55) atestam relações entre escorregamentos e a forma das vertentes, confirmando que a morfologia da encosta pode ser elemento importante para deflagração do movimento:

Diversos estudos de cunho geomorfológico têm chamado a atenção para o papel desempenhado pelas porções côncavas do relevo (*hollows*) na convergência dos fluxos de água, tanto em superfície quanto em sub-superfície, favorecendo o desenvolvimento de condições de saturação nos solos e, em última análise, a geração de deslizamentos nas encostas.

Tão importante quanto a declividade ou a forma da encosta, a espessura do solo é também critério a ser verificado na análise da suscetibilidade a escorregamentos. Fornassari Filho e Infanti Jr. (1998) consideram que encostas que apresentam solos pouco espessos podem caracterizar elevada suscetibilidade à ocorrência de escorregamentos. Isso ocorre, segundo os autores, por que coberturas de solo de pouca profundidade tendem a exibir maior possibilidade de saturação por água durante os períodos chuvosos, favorecendo a deflagração de movimentos de massa. Em opinião contrária, Pinto (2002) assume que quanto maior a espessura do solo, maior a suscetibilidade a escorregamentos, uma vez que uma massa (peso) considerável de solo tende a se mobilizar. Já Augusto Filho (1992) relacionou escorregamentos planares a solos pouco espessos e circulares a solos profundos e homogêneos.

Essas aparentes discordâncias indicam que a espessura do solo não deve ser avaliada de modo desconexo dos demais fatores que atuam para a deflagração de escorregamentos. A saturação do solo não é atingida somente em função da sua espessura, podendo variar conforme a morfologia da vertente – uma vez que esse parâmetro interfere na relação entre escoamento e infiltração (AUGUSTO FILHO, 1992; FORNASSARI FILHO e INFANTI JR, 1998; PINTO, 2002; COELHO NETTO, 2011).

Coelho Netto (2011) explica que os solos são formados por partículas de diferentes composições e tamanhos e entre estas também existem os poros do solo, os quais podem estar parcial ou totalmente preenchidos por água (solos não saturados e saturados, respectivamente). Para a autora, os fluxos da água nos solos dependem, também, dos tamanhos das partículas (textura) e da organização entre elas (estrutura), fatores que se relacionam com a porosidade dos solos. Ademais, infiltração (água que molha ou é absorvida pelo solo) e percolação (fluxo da água em subsuperfície) dependem, dentre outros fatores, de duas forças: atração capilar e força gravitacional. Assim sendo, “a água, ao percolar o solo como fluxo livre gravitacional, sofre resistência da força capilar, a qual aumenta na medida em que os diâmetros dos solos se tornam menores” (COELHO NETTO, 2011, p.118). Desse modo, tanto a infiltração, quanto a

percolação de água – que pode promover a saturação dos solos – dependem de características físicas do meio.

Segundo Coelho Netto (2011), a água é elemento controlador do comportamento mecânico dos solos e Augusto Filho (1994) entende que as chuvas instabilizam encostas gerando forças de percolação que produzem pressões hidrostáticas e reduzem a resistência dos solos, levando à perda da coesão aparente. Para Ortigão (1995), a resistência de um solo é representada pela sua coesão, ângulo de atrito interno e resistência ao cisalhamento. A coesão real resulta do efeito dos agentes cimentantes²⁵ (MULLINS *et al.*, 1990), assim como da atração entre partículas próximas, por forças eletrostáticas. Já a coesão aparente se trata do resultado da tensão superficial da água nos capilares do solo, quando parcialmente saturados, formando meniscos de água entre as partículas, o que tende a aproximá-las, conforme Figura 2.12 (SILVA e CARVALHO, 2007). Para Fredlund e Rahardio (1993) a coesão aparente representa parcela importante da resistência ao cisalhamento dos solos com alto teor de umidade.

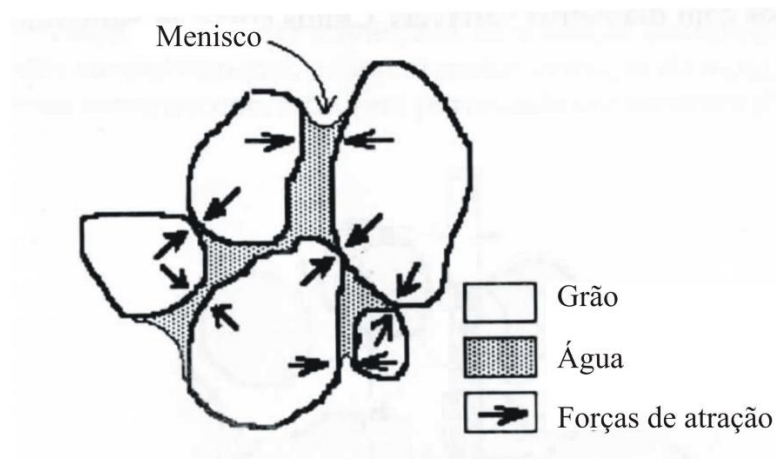


Figura 2.12 – Representação esquemática da água retida entre as partículas do solo – água intersticial (COELHO NETTO, 2011).

Essas afirmações encontram respaldo nas considerações de Correia *et al.* (2013), que destacam que entre os mecanismos de ruptura das vertentes, há a saturação dos solos pelo aumento da poro-pressão positiva – infiltração da água preenchendo todos os vazios. Esse processo leva à redução à perda da coesão aparente (sucção), momento em que a ruptura ocorre, mesmo sem haver a completa saturação do solo.

²⁵ Como teor de óxidos e argilas silicatadas.

Para Whipkey e Kirkby (1978 *apud* COELHO NETTO, 2011) os fluxos em subsuperfície variam em função de diversos fatores, sendo possível citar topografia, descontinuidades no perfil dos solos e umidade já existente no meio. Para Fernandes e Amaral (1996) descontinuidades mecânicas e hidrológicas podem ocorrer tanto no interior dos solos quanto no contato dos depósitos de encostas com a rocha sã. Essas descontinuidades podem assumir papel relevante, em termos mecânicos e hidrológicos, na origem dos movimentos de massa.

Nesse sentido, para Tominaga (2007), os solos residuais costumam exibir descontinuidades herdadas da estrutura do embasamento rochoso, a exemplo de falhas, fraturas e foliação. Assim, tais feições reliquias podem proporcionar a ocorrência de escorregamentos: quando condicionam a água do solo para fora da vertente (formando superfícies de deslizamento) ou quando estão preenchidas por material argiloso, casos em que formam impedimentos aos cursos d'água no solo – promovendo saturação. O mesmo pode ocorrer quando há redução no ângulo de atrito e/ou coesão em função do intemperismo mais avançado ao longo do lineamento estrutural reliquiar (SELBY, 1993).

Fernandes e Amaral (1996) consideram que tais descontinuidades, quando presentes no solo, podem influenciar na tipologia de ocorrência de movimento de massa: escorregamentos rotacionais geralmente predominam em vertentes caracterizadas por elevada densidade de fraturas no embasamento rochoso, quando se formam solos homogêneos e de estrutura granular. Já em vertentes que exibem descontinuidades pedológicas resultantes de estruturas reliquias de alívio de tensão ou bandamento, tendem a predominar os escorregamentos translacionais.

Fernandes *et al.* (2001) realçam a importância do parâmetro topográfico área de contribuição, caracterizado pela área drenada à montante de cada ponto, enfatizando que a área de contribuição “é um parâmetro morfológico muito importante, devendo ser incorporado às metodologias voltadas para a previsão de áreas de risco a deslizamentos” (FERNANDES *et al.*, 2001, p.63). Segundo Silva (2006, p.32) área de contribuição é a “área de drenagem que capta a água que é conduzida ao local de escoamento à jusante”, e significa o volume escoado em uma porção (comprimento) da vertente.

Segundo Minella *et al.* (2010, p.1458), em “vertentes convexas, em que o fluxo acumulado torna-se divergente, a área de contribuição específica tende a diminuir”. Já no caso das “vertentes côncavas, a área de contribuição específica tende a aumentar, causando rápido incremento no fluxo acumulado”. Ramos *et al.* (2002, p.62), referindo-se aos escorregamentos, destacam “a importância da área de contribuição dentro deste contexto, uma vez que as áreas

de maior grau de instabilidade possuem elevada área de contribuição”, reforçando a relevância do parâmetro área de contribuição na previsão de áreas instáveis, principalmente os *hollows*, os quais são identificados como locais potenciais de saturação – portanto de instabilidade.

Para Christofolletti (1981), Fernandes e Amaral (1996), Fernandes *et al.* (2001) e Coura *et al.* (2009), a vertente também condiciona a ocorrência de escorregamentos em função da orientação das encostas (aspecto). Um dos motivos é que a orientação das encostas determina quais vertentes se tornam expostas às variáveis climatológicas, a exemplo da direção do vento e insolação. Nesse sentido, Marcelino (2003) sintetiza informações e explica que o mapeamento da orientação das encostas é útil na avaliação dos riscos de escorregamentos, uma vez que fornece informações sobre vertentes que se encontram mais expostas às variáveis climatológicas.

Para Augusto Filho (1998), a orientação das encostas se refere à posição das faces do terreno com relação à incidência (e distribuição) da radiação solar. Essa orientação relativa pode influenciar nos teores de umidade e na espessura do solo, sendo também influente na cobertura vegetal. Assim sendo, a variação do teor de umidade pode ser determinante para as características físico-químicas do solo, além de interferir no comportamento geotécnico e nas suas propriedades morfológicas, especialmente espessura, porosidade, composição química e mineralogia.

Sobre a orientação das encostas (aspecto) Dai e Lee (2002, p.221) consideram que “o aspecto de uma inclinação pode influenciar na iniciação (deflagração) de escorregamentos”. A retenção de umidade e a vegetação são reflexos do aspecto da vertente, que por sua vez pode afetar a solidez do solo e susceptibilidade aos deslizamentos”²⁶. Citando Wieczorek *et al.* (1997), acrescentam que se a precipitação apresentar direção influenciada por um vento predominante, a quantidade de chuva sobre uma vertente pode variar de acordo com seu aspecto (DAI e LEE, 2002, p.221).

Vanacôr e Rolim (2012, p.20) sintetizam muito bem o apresentado por Dai e Lee (2002), a saber:

(...) a orientação das encostas afeta indiretamente a resistência ao cisalhamento, pois está intimamente relacionada à presença de umidade e de cobertura vegetal. Além do que, as precipitações pluviométricas estão condicionadas à direção predominante dos ventos, isto é, a quantidade de chuva será maior nas encostas expostas a estes eventos atmosféricos.

²⁶ The aspect of a slope can influence landslide initiation. Moisture retention and vegetation is reflected by slope aspect, which in turn may affect soil strength and susceptibility to landslides.

A instabilidade das vertentes também se relaciona ao comprimento da encosta. Para Cunha *et al.* (1991, p.15) “maiores declividades determinam maiores velocidades de escoamento das águas, aumentando sua capacidade erosiva; e maior comprimento da encosta implica maior tempo de escoamento”. Nesse sentido, para Bertoni *et al.*, (1972), quadruplicando o comprimento da vertente, quase são triplicadas as perdas de solo por erosão, enquanto para Bertroni e Lombardi Neto (1995) e Bastos (1999), quanto maior o comprimento da rampa (e declividade), maior o caminho e a velocidade dos fluxos e, conseqüentemente, maior a capacidade de transporte na vertente – nesse caso, menor infiltração. Para Cruz (1990), no município de Caraguatatuba, duas áreas com grande ocorrência de cicatrizes apresentavam vertentes de grande comprimento e elevada declividade, em zonas de maiores amplitudes topográficas.

Silva *et al.* (2011) elaboraram trabalho que objetivou analisar a susceptibilidade a deslizamentos de encostas de Coroadinho, Maranhão, por meio de modelagem de variáveis morfométricas – dentre as quais o comprimento da vertente. Os autores observaram que as classes de comprimento de rampa mais comuns na área de estudo encontravam-se no entorno dos divisores hidrográficos, condições em que as declividades são mais acentuadas, portanto de maior potencial a deflagração dos escorregamentos. Concluíram que as vertentes que apresentaram maior susceptibilidade ao fenômeno foram aquelas associadas a comprimentos de rampa curtos – entre 0 a 100m (SILVA *et al.*, 2011). Entretanto ponderam que:

(...) quando observadas as variações no entorno das feições da imagem, constata-se que as variáveis apresentam comportamento diferentes daqueles apontados na literatura, em que os deslizamentos estão relacionados a fortes declividades, amplitudes altimétricas elevadas e comprimentos de rampa longo. Assim, na área de estudo, supõe-se que além das variáveis morfométricas envolvidas, outros fatores geoambientais expliquem a deflagração dos deslizamentos como geologia local, atividades antrópicas, características climáticas e forma das vertentes (SILVA *et al.*, 2011, p.0955).

A assimetria dos vales é parâmetro utilizado para estudos que visam verificar o deslocamento principal de um rio perpendicularmente à direção do seu eixo, o que pode refletir mudança de inclinação do terreno – resultante de atividade tectônica ou por erosão diferencial de controle estrutural litológico (COUTO *et al.*, 2013). Na opinião de Salamuni *et al.* (2004), a assimetria de uma bacia reflete o componente de deslocamento lateral do rio principal, perpendicular à direção do seu eixo, sendo que essa migração pode ser causada por processos fluviais internos e/ou forças tectônicas.

No que diz respeito à elevação como fator geomorfológico para a deflagração de movimentos gravitacionais de massa, Pinto *et al.* (2015) ressaltam que é importante salientar que não há limites precisos para classificar a suscetibilidade de um terreno apenas com relação à hipsometria – ainda que este seja um importante parâmetro. Por outro lado, para Dai e Lee (2002), que pesquisaram escorregamentos em Hong Kong por meio de modelagem em geoprocessamento, as conclusões são mais nítidas, a saber:

Em altitudes muito elevadas ocorrem cúpulas de montanha que geralmente consistem em rochas alteradas, cuja resistência ao cisalhamento é muito maior. Em elevações intermediárias, no entanto, as inclinações tendem a ser cobertas por um colúvio fino, mais propenso a escorregamentos. Em altitudes muito baixas, a frequência de escorregamentos é baixa porque o terreno em si é suave, e é coberto por colúvio espesso e/ou solos residuais e uma coluna de água mais elevada será necessária para iniciar a ruptura da vertente²⁷.

²⁷ At very high elevations there are mountain summits that usually consist of weathered rocks, whose shear strength is much higher. At intermediate elevations, however, slopes tend to be covered by a thin colluvium, which is more prone to landslides. At very low elevations, the frequency of landslides is low because the terrain itself is gentle, and is covered with thick colluvium or/and residual soils, and a higher perched water table will be required to initiate slope failure.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido por meio de atividades que podem ser agrupadas em duas etapas principais: de gabinete e de campo. As etapas de gabinete se subdividiram em (i) definição da área de estudo; (ii) levantamento e organização de informações e dados sobre a área investigada; (iii) elaboração de referencial teórico-conceitual; (iv) formulação de balanço hídrico simplificado; (v) interpretação de mapas e de produtos de sensores remotos e elaboração cartográfica específica; e (vi) integração e análise dos resultados.

Os trabalhos de campo, em um primeiro momento, focaram os principais leitos e planícies fluviais no interior da mancha urbana de Teófilo Otoni, objetivando identificar feições naturais destas áreas ou alterações decorrentes da urbanização que pudessem ser relacionadas ou permitissem melhor compreensão da ocorrência de inundações ou alagamentos na cidade. Posteriormente, atenção especial foi dedicada previamente selecionadas na área investigada, quando solos e coberturas superficiais foram avaliadas buscando identificar características morfológicas destes materiais associadas à suscetibilidade a escorregamentos.

3.1 – As etapas de Gabinete

Entende-se por trabalhos de gabinete aqueles não realizados em campo, relacionados a pesquisa e levantamento de dados primários e secundários e produção de textos e mapas, mesmo quando são tratadas informações obtidas nos trabalhos de campo. Dentre todas elas, apenas a integração e análise dos resultados é apresentada em separado, por constituir culminância obtida após o cumprimento de todos os esforços metodológicos, incluindo os trabalhos de campo.

Neste tópico, opta-se por apresentar estas atividades de gabinete em ordem cronológica, conforme o desenrolar das tarefas efetuadas.

3.1.1- Definição da área de estudo

O principal objeto avaliado neste trabalho é o tecido urbano de Teófilo Otoni (MG), conforme limite fornecido pela prefeitura do município (METZKER *et al.*, 2014), conforme Figura 3.1 – C. A definição deste objeto se deu, em princípio, por relativa carência de estudos relacionados ao uso e ocupação do solo na área, especialmente no que diz respeito às consequências do modelo de produção do tecido urbano e exposição das populações a escorregamentos e inundações.

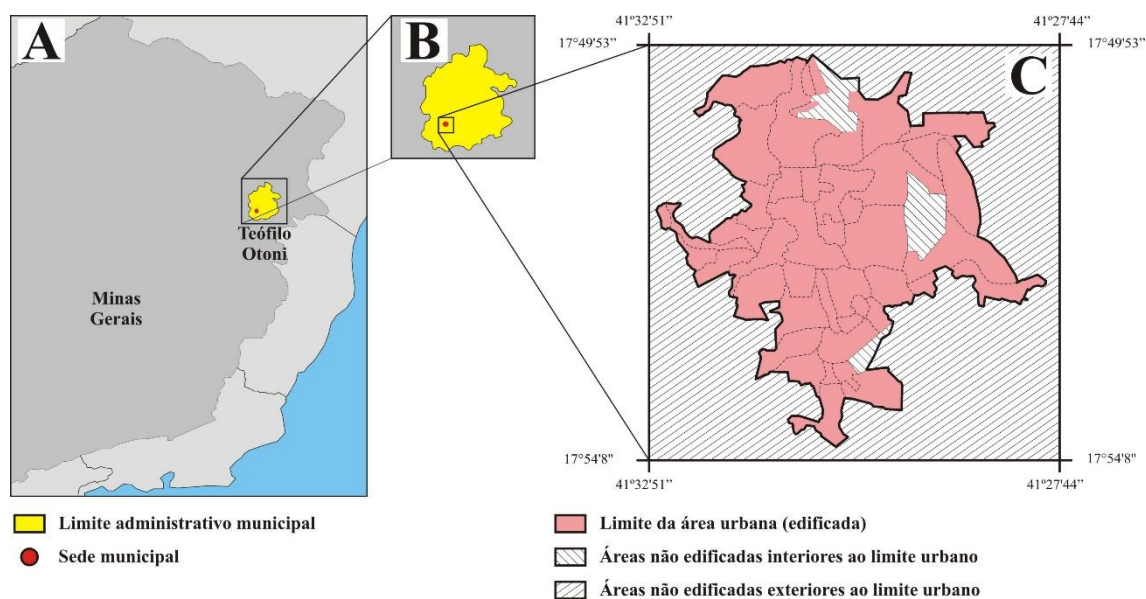


Figura 3.1 – Abrangência espacial da área investigada, na qual se inclui a área urbana da sede municipal de Teófilo Otoni (MG), em A e B. Além das porções edificadas e não edificadas interiores aos limites da cidade, a área total investigada abrange, ainda, setores não edificadas adjacentes à cidade, em C.

Em meio urbano, a intensa produção do espaço tende a gerar severas modificações nas características dos solos, relevo e hidrografia nas áreas tomadas pela formação das cidades. Por este motivo, além do tecido urbano de Teófilo Otoni, espaços adjacentes a este foram anexados ao objeto inicial de estudo, configurando quadrante no qual a cidade ocupa a porção central, visando levantar informações de áreas menos afetadas pela urbanização Figura 3.1 - C. Em outras palavras, essa ação foi executada de modo a assegurar melhor compreensão da dinâmica geomorfológica no interior da mancha urbana com auxílio do entendimento daquilo que ocorre

além dos limites da cidade. Assim, a área investigada neste trabalho pode ser visualizada por meio da Figura 3.1.

3.1.2 – Levantamento e organização de dados sobre a área investigada

Um dos mais importantes desafios vivenciados ao longo da elaboração deste trabalho diz respeito ao levantamento de informações e dados que subsidiem o reconhecimento das características fisiográficas e socioeconômicas da área investigada, em virtude de relativa carência de trabalhos que têm como objeto Teófilo Otoni. Isso posto, os dados necessários para a compreensão do regime pluviométrico vigente na área analisada foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, acrescidos daqueles obtidos junto à Estação Climatológica Principal de Teófilo Otoni/MG (Agência Nacional de Águas - ANA, 2015). Esses dados tratam do volume de precipitação total por mês dos anos de 1961 a 2015, disponíveis no *site* do HidroWeb (ANA, 2015).

Durante análise e interpretação desses dados percebeu-se que, ao longo da série histórica, alguns meses não possuíam registro pluviométrico, em função de erros de coleta ou de tabulação da informação, assim como os anos de 1969, 1988, 1989, 1990, 2009, 2010 e 2011 não apresentavam dados suficientes. Para minimizar a influência da falta de elementos nos resultados, fez-se uso de correções estatísticas: uma vez evidenciada carência de dados de um mês em específico, calculou-se à média histórica daquele mês dentro da série e o valor foi considerado para preencher a lacuna. Para resguardar a segurança dos trabalhos, os anos que não possuíam dados, bem como aqueles que apresentavam insuficiência de dados igual ou superior a seis meses, foram desconsiderados e não computados nas análises. Após esta etapa, calculou-se a lâmina de precipitação anual verificada na cidade (precipitação acumulada) e, analisando-se a distribuição da pluviosidade, foi considerada estação chuvosa o período compreendido entre os meses de outubro a março, conforme entendem Ferraz *et al.* (2016b).

No caso específico da elaboração do balanço hídrico simplificado da área investigada, dados da estação Mucuri (logo a jusante de Teófilo Otoni) foram utilizados para suprir as referidas lacunas. Entretanto, não foram localizados dados pluviométricos do ano de 1969, assim como aqueles entre os anos de 1988 a 1990 – em ambas as estações. Por esse motivo, estes anos foram também desconsiderados.

A vazão do Rio Todos os Santos foi obtida a partir de dados disponíveis junto à estação Francisco Sá, localizada a aproximadamente 60km a jusante de Teófilo Otoni. Foram utilizados estes dados em função da inexistência de estações fluviométricas no interior ou em qualquer ponto mais próximo a jusante da área investigada, sendo, portanto, tal vazão entendida como referência. Os dados empregados correspondem aos anos de 1960 a 2008, uma vez que não estavam disponíveis informações de vazões posteriores (ANA, 2015).

As informações referentes às diligências da Polícia Militar (19º Batalhão de Polícia Militar) e Corpo de Bombeiros (2ª Cia./6º Batalhão), relacionados a inundações e alagamentos, foram obtidas mediante solicitação às corporações. Polícia Militar e Corpo de Bombeiros mantêm registros informatizados desde o ano de 2011, quando os bancos de dados foram unificados, integrados e modernizados, por meio dos Sistema de Registro de Eventos de Defesa Civil (REDS) e Armazém de Dados. Padronizado, este sistema eletrônico gera informações com base nas diligências efetuadas pelos agentes da Polícia Militar e Corpo de Bombeiros, sendo possível determinar se cada episódio registrado se relaciona a inundações ou alagamentos.

Para tanto, inicialmente, procedeu-se à separação das informações relacionadas a inundações e alagamentos daquelas que se tratavam de movimentos ocorridos nas vertentes, estas últimas com resolução insuficiente para diferenciar processos erosivos, tombamento ou colapso de estruturas civis ou movimentos gravitacionais de massa – motivo pelo qual foram desconsiderados para fins de análise. Por outro lado, os dados relativos a inundações e alagamentos possibilitaram reconhecer as diligências dos órgãos de segurança que se trataram de avaliação de potencial de perigo ou risco daquelas que configuraram operações de atendimento às vítimas dos fenômenos tratados, genericamente aqui denominadas como operações de salvamento²⁸, conforme Figura 3.2. Estes últimos foram utilizados para compor a interpretação da vulnerabilidade a inundações e alagamentos em Teófilo Otoni.

Foram também consultados sites de periódicos de notícias, com o intuito de avaliar conteúdos que se relacionassem à ocorrência de inundações, alagamentos ou escorregamentos em Teófilo Otoni. Esse trabalho foi desenvolvido, também, objetivando verificar o alcance dos

²⁸ Uma vez que estavam disponíveis as localizações de cada ação da Polícia Militar ou Corpo de Bombeiros, os dados foram organizados de modo a determinar o total de vistorias (avaliação de risco) ou operações de resgate e salvamento (evento) por bairros, além de atribuir uma gradação de risco em função do número de ocorrências por bairro e reincidência nos anos da série de dados. Dessa maneira, os dados tiveram a seguinte resolução: avaliação de risco e ocorrência de alagamentos; avaliação de risco e ocorrência de inundações.

danos causados pelos eventos e pessoas atingidas, na maior parte das vezes, visando qualificar as informações obtidas nas etapas anteriores.



Figura 3.2 – Avaliações de perigo ou risco (vistoria) e operações de salvamentos efetuados durante eventos de inundações e alagamentos entre 2011 e 2015, segundo Corpo de Bombeiros e Polícia Militar.

Levantamentos cartográficos objetivaram estabelecer panorama a respeito do substrato litológico, formas do relevo e solos existentes na área investigada, buscando-se as escalas de maior detalhamento. Em alguns casos, resultados recentes, relacionados ao projeto de pesquisa que originou este trabalho, se mostraram úteis, especialmente no que diz respeito ao contexto geomorfológico e avaliação do crescimento urbano da cidade de Teófilo Otoni²⁹. Essa etapa demonstrou ser de fundamental importância, uma vez que forneceu, além do arranjo espacial da mancha urbana da cidade em perspectiva histórica, panorama das relações entre a geomorfologia e o crescimento da cidade.

3.1.3 – Elaboração de referencial teórico-conceitual

Desenvolver um referencial teórico que subsidie as análises e interpretações propostas e, ao mesmo tempo, estabeleça a terminologia utilizada nas considerações em texto e mapas do trabalho foi a meta desta etapa. Este esforço se fez necessário, dentre outros motivos, pela imprecisão ou sobreposição dos significados de conceitos utilizados ao abordar os riscos a alagamentos, inundações e escorregamentos (TORRES, 2000; CARDONA ARBOLEDA, 2003; MARANDOLA Jr. e HOGAN, 2009). O mesmo ocorre a respeito da interpretação da

²⁹ Resultados apresentados e discutidos no Capítulo 4.

dinâmica dos processos e a atuação dos agentes que deflagram estes fenômenos, sejam eles condicionantes ou desencadeantes: comumente se verificam divergências de tradução, compreensão ou definição conceitual. Isso também ocorre como resultado dos pontos de vista de pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento, que se debruçam sobre a investigação de escorregamentos e inundações (CUTTER, 1994; FERNANDES e AMARAL, 1996; ZÊZERE, 2005).

Esta etapa foi edificada por meio de análise de artigos, dissertações, teses e demais publicações técnico científicas, dentre outras fontes, especialmente em língua portuguesa e inglesa, que abordam temas relacionados (i) aos conceitos de suscetibilidade, vulnerabilidade, perigo (*hazards*), risco e desastre, (ii) à estabilidade das vertentes e movimentos gravitacionais de massa, e (iii) às inundações; estes dois últimos temas com destaque à ocorrência dos fenômenos em meio urbano. Como se trata de revisão bibliográfica, optou-se por incluir as temáticas pertinentes aos movimentos gravitacionais de massa e inundações também por meio de resgate de textos clássicos. Ao mesmo tempo, atenção a trabalhos recentes foi dedicada, sobretudo para os que enfocam geomorfologia aplicada à análise dos fenômenos.

Prudência especial foi reservada aos trabalhos que enfocam procedimentos e técnicas utilizadas para avaliação do risco de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa e inundações, visando auxiliar a construção da abordagem de campo, analítica e cartográfica, especialmente no que diz respeito às pesquisas direcionadas às instabilidades de encostas e dinâmica fluvial em áreas urbanas sob climas tropicais em relevos planálticos dissecados.

O resultado destes esforços culminou na definição do significado e interpretação dos conceitos adotados neste trabalho, bem como no estabelecimento do cabedal teórico-conceitual considerado como mais adequado à sua elaboração.

3.1.4 – Formulação de balanço hídrico simplificado de Teófilo Otoni

O balanço hídrico simplificado proposto para Teófilo Otoni foi elaborado a partir de dados pluviométricos (estações Teófilo Otoni – INMET A527 e Mucuri – 01741023) e fluviométricos (estação Francisco Sá – 55610000), adquiridos no *site* do INMET (2015), que foram integrados em gráficos de barra e área, nos eixos horizontais superior e inferior, respectivamente. A partir da geração da hidrógrafa que representa o escoamento basal para a

área investigada, os gráficos que representam o balanço hídrico simplificado foram apresentados, conforme Figura 3.3.

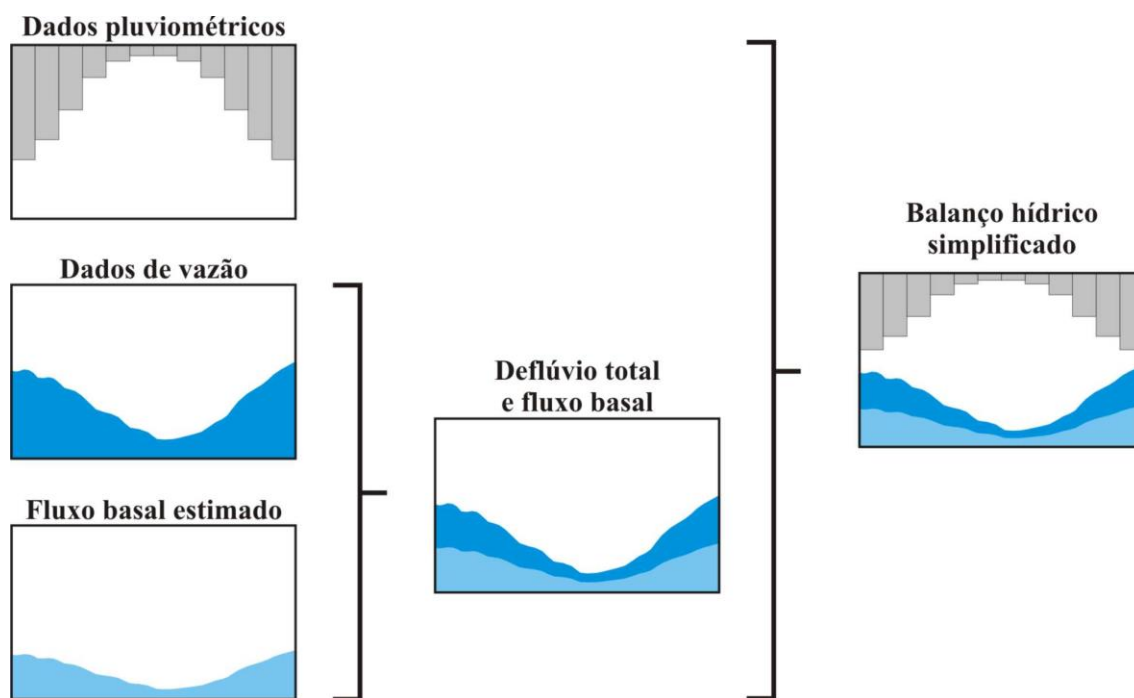


Figura 3.3 – Etapas de elaboração do balanço hídrico simplificado de Teófilo Otoni (MG). No gráfico construído na etapa final, os dados de precipitação pluviométrica, obtidos a partir de compilação de série histórica, estão dispostos em barras em ocupam o eixo horizontal superior; os dados de vazão do Rio Todos os Santos e o fluxo basal estão ambos representados no eixo horizontal inferior do gráfico.

Para a construção deste balanço foi necessário ainda estimar o escoamento de base – fluxo basal – a partir dos dados de vazão do Rio Todos os Santos, utilizando-se o módulo BFI+ 3.0 do *software HydroOffice* (GREGOR e MALÍK, 2012). A opção pelo módulo BFI+ 3.0 se deu por se tratar do algoritmo de separação “Método de Mínimo Local”, que consiste na análise de cada dia para determinar qual é a menor vazão na metade do intervalo de dias selecionados menos um dia, antes e depois do dia considerado. Selecionada a menor vazão, esta é denominada de “mínimo local” e é ligada por segmentos de linhas retas a mínimos locais adjacentes, construindo-se assim a hidrógrafa estimada do fluxo basal. O valor do escoamento de base para cada dia é considerado por interpolação linear, em método cujo resultado pode ser visualizado ligando os pontos mais baixos da hidrógrafa com segmentos de linhas, conforme Sloto e Crouse (1996).

Uma vez calculados os valores de escoamento de base, os dados foram exportados e dispostos juntamente aos valores pluviométricos (entrada de chuvas) e pluviométricos (deflúvio

total do Rio Todos os Santos), gerando balanço hídrico simplificado para a área investigada (Figura 3.3). Estes foram tabulados em dois formatos: (i) balanço hídrico simplificado para a série histórica (1961 a 2008); (ii) balanços hídricos simplificados por décadas, visando melhor resolução dos gráficos.

3.1.5 – Interpretação de mapas e de produtos de sensores remotos e elaboração da cartografia específica

O desenvolvimento de mapas como meio de apresentação da informação espacialmente classificada derivou de esforços que variaram da interpretação inicial de imagens de satélite e cartas topográficas até a coleta de informações em campo, passando pela análise integrada das variáveis de interesse ao estudo.

No que diz respeito às informações cartográficas pré-existentes, capazes de embasar o reconhecimento prévio da área investigada e subsidiar a elaboração desta pesquisa, foi verificada considerável lacuna, o que tornou necessário se produzir mapeamentos básicos que viabilizassem a análise e representação dos resultados. Esta tarefa foi desenvolvida a partir de produtos de sensores remotos e trabalhos de campo. A cartografia utilizada como fonte de reconhecimento prévio, raramente em escala mais detalhada do que 1:100.000, se refere a mapeamentos geológicos e pedológicos, além de informações de cunho geomorfológico e do crescimento urbano de Teófilo Otoni, estes últimos produzidos ainda nas etapas iniciais dos trabalhos relacionados a esta pesquisa. Dessa forma, a seguir são apresentados os esforços dedicados à cartografia apresentada neste trabalho.

3.1.5. A – A base cartográfica geral

A base cartográfica utilizada para a composição dos mapas de risco a inundações e alagamentos, bem como para o de risco a escorregamentos de Teófilo Otoni foi elaborada por Ferraz *et al.* (2018), a saber: modelos digitais de elevação hidrograficamente condicionados (MDEHC) e análises multicritérios, conforme Ferraz *et al.* (2018). Além destes mapas, compreendidos como resultados parciais, os mapas da concentração do escoamento superficial da área investigada e das planícies de inundação da área urbana de Teófilo Otoni também foram confeccionados a partir das bases cartográficas desenvolvidas pelos autores, ao longo do período compreendido entre os anos de 2016 a 2018. Estes dois últimos mapas também são

considerados resultados parciais, uma vez que foram utilizados para a confecção dos mapas de risco propostos como objetivo de trabalho.

Para elaboração do mapeamento das planícies de inundação, bem como intervenções nos cursos d'água, os quais focam a área urbana de Teófilo Otoni, procedeu-se à delimitação das planícies aluviais, tomando-se como referência inicial o valor médio de 25 metros a partir de cada margem dos cursos d'água para elaboração de *buffer* partindo dos rios (utilizando-se a cartografia de base previamente confeccionada), aplicado ao MDEHC (FERRAZ *et al.*, 2018). De posse destes resultados, as planícies de inundação foram pontualmente redesenhadas por análise e interpretação do relevo, com auxílio das curvas de nível geradas pelo modelo de elevação e imagens do *Google Earth Pro*. As demais informações, obtidas em trabalho de campo, como localização de pontes, gabiões e determinação de área urbanizada, dentre outras, foram adicionadas ao mapa por meio da criação de novos *shapefiles*, um para cada característica mapeada. Para isso foram consideradas as informações de campo e imagens do *Google Earth Pro* (Figura 3.4).

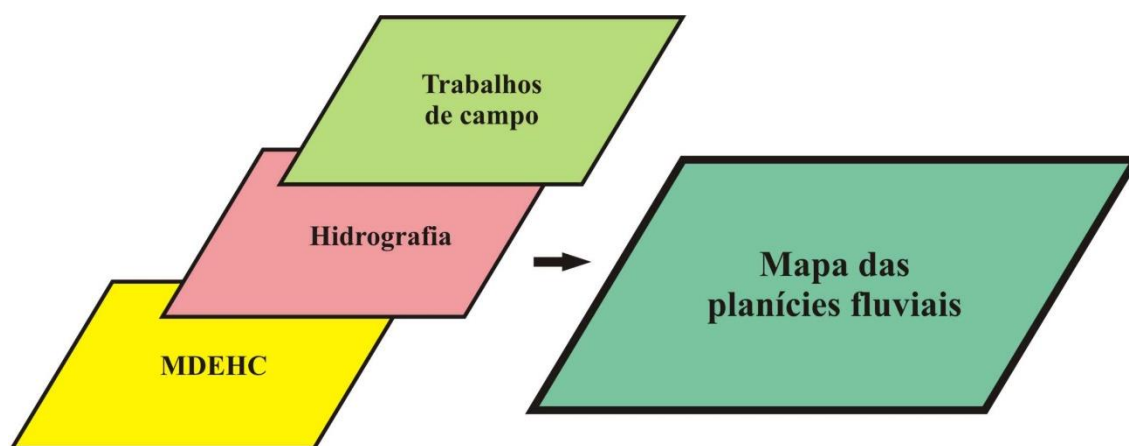


Figura 3.4 – Etapas da elaboração do mapa do uso e ocupação do solo das planícies fluviais localizadas no interior da área urbana de Teófilo Otoni.

O mapa de concentração do escoamento superficial da área investigada, também se valeu de modelo de risco de inundação avaliado por Ferraz *et al.* (2018)³⁰, ao qual foram adicionados *shapefiles* que contêm (i) elementos morfológicos de interesse (linhas de cumeada, reentrâncias e anfiteatros das vertentes, anteriormente elaborado) e (ii) direções do escoamento superficial,

³⁰ Ferraz *et al.* (2018) avaliaram metodologia proposta por Magalhães *et al.* (2011) para elaboração de modelo do risco de inundação da área investigada. Embora tenham concluído que o modelo apresenta limitações para o mapeamento do risco, consideraram que os resultados são extremamente úteis para determinação das áreas dispersoras e concentradoras dos fluxos superficiais.

interpretadas a partir da morfologia e declividade, com base nas curvas de nível obtidas pelo MDEHC e imagens do *Google Earth Pro*. As etapas de elaboração deste mapa são graficamente representadas na Figura 3.5.

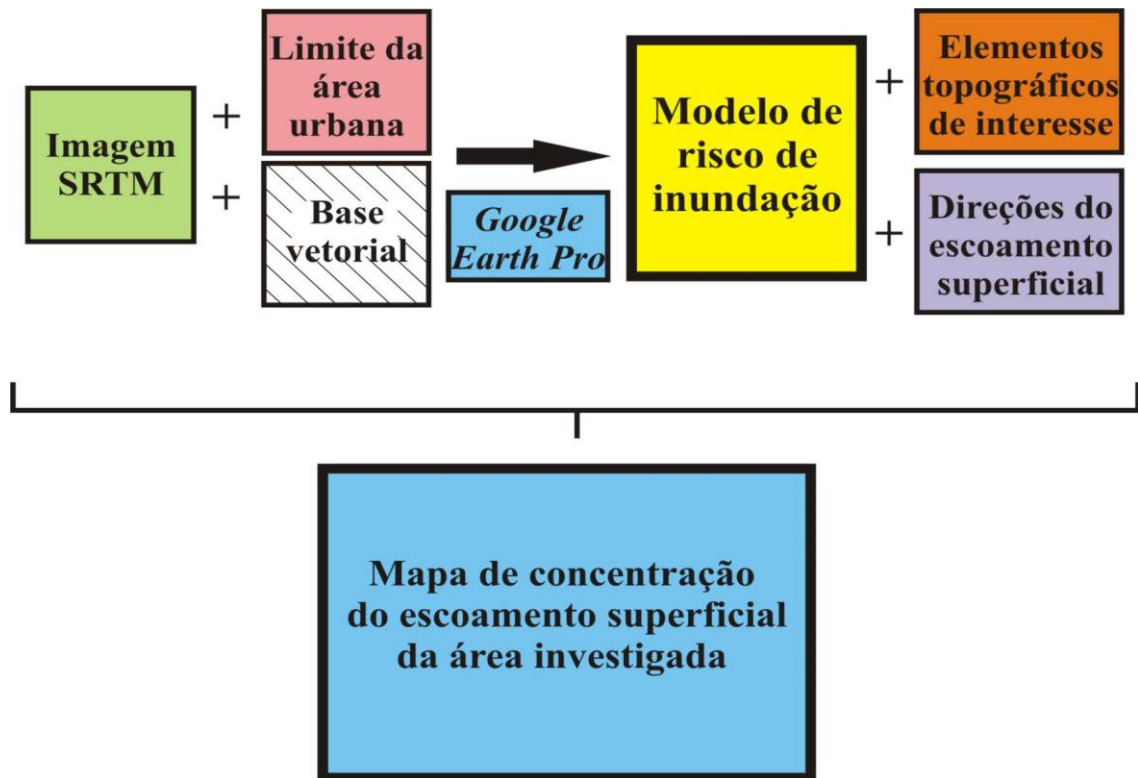


Figura 3.5 – Etapas de elaboração do mapa de concentração do escoamento superficial da área investigada.

3.1.5. B – O mapa de risco a inundações e alagamentos de Teófilo Otoni

Para a construção do mapa de risco de inundações e alagamentos, o qual teve como base o mapa das planícies fluviais de Teófilo Otoni, utilizaram-se *shapefiles* que contêm informações resultantes da tabulação dos dados fornecidos pelo Corpo de Bombeiros e pela Polícia Militar. Para tanto, os dados foram transferidos para a base do mapa gerado por Ferraz *et al.* (2018), como nova camada (*shapefile*), obtendo-se mapeamento que localiza no espaço, de modo quantitativo, os eventos de inundações e alagamentos na área investigada entre 2011 e 2015 (Figura 3.6).



Figura 3.6 – Elaboração do mapa de risco a inundações e alagamentos de Teófilo Otoni.

3.1.5.C – Produção do mapa de risco a escorregamentos de Teófilo Otoni e adjacências

O mapa de risco a escorregamentos aqui proposto foi elaborado tendo como base mapeamento da suscetibilidade natural a escorregamentos nas reentrâncias da área investigada, segundo Ferraz *et al.* (2018). Os autores, a partir de informações oriundas de trabalhos de campo, geoprocessamento e dados obtidos por meio de consulta bibliográfica, elaboraram análise multicriterial que resultou na base cartográfica utilizada para o mapa de risco a escorregamentos produzido.

Em continuidade, a vulnerabilidade frente a escorregamentos das populações de Teófilo Otoni foi obtida tendo como base a cartografia elaborada por Batella (2013), a qual se constitui dos mapas de (i) densidade habitacional, (ii) domicílios sem banheiro, (iii) domicílios com abastecimento de água da rede geral e (iv) chefes de família com renda inferior a dois salários mínimos, todos elaborados com base no Censo de 2010 (IBGE, 2010).

O primeiro esforço consistiu na compilação entre os mapas de domicílio sem banheiro e com abastecimento de água da rede geral, configurando o mapa de indicadores sanitários, cujos critérios seguiram os expostos no Quadro 3.1. Posteriormente, o mapa (indicadores sanitários) foi compilado com os restantes (densidade habitacional e renda) para a construção do mapa que representa a vulnerabilidade das populações a escorregamentos em Teófilo Otoni, de acordo com as diretrizes verificáveis por meio do Quadro 3.2.

Quadro 3.1 – Critérios para elaboração do mapa de indicadores sanitários para Teófilo Otoni, a partir de Batella (2013).

ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA REDE GERAL (%)	DOMICÍLIOS SEM BANHEIRO (%)	INDICADORES SANITÁRIOS
Acima de 97,8	Entre 0,6 e 1,4	Bom
Acima de 97,8	Abaixo de 0,6	
Entre 94,2 a 97,8	Abaixo de 0,6	
Acima de 97,8	Acima de 1,4	Mediano
Entre 94,2 a 97,8	Entre 0,6 e 1,4	
Entre 94,2 a 97,8	Abaixo de 0,6	
Abaixo de 94,2	Acima de 1,4	Ruim
Abaixo de 94,2	Entre 0,6 e 1,4	
Entre 94,2 a 97,8	Acima de 1,4	

Quadro 3.2 – Critérios para mapeamento da vulnerabilidade a escorregamentos das populações de Teófilo Otoni.

DENSIDADE HABITACIONAL (HABITANTES POR DOMICÍLIO)	INDICADORES SANITÁRIOS	RENDA* (%)	VULNERABILIDADE
Acima de 3,44	Ruim	Entre 15,8 e 20,4	Alta
Acima de 3,44	Mediano	Acima de 20,4	
Entre 3,25 e 4,44	Ruim	Acima de 20,4	
Acima de 3,44	Mediano	Entre 15,8 e 20,4	Média
Entre 3,25 e 4,44	Ruim	Entre 15,8 e 20,4	
Entre 3,25 e 4,44	Mediano	Entre 15,8 e 20,4	
Entre 3,25 e 4,44	Mediano	Acima de 20,4	Baixa
Entre 3,25 e 4,44	Bom	Abaixo de 15,8	
Abaixo de 3,25	Mediano	Abaixo de 15,8	
Abaixo de 3,25	Bom	Entre 15,8 e 20,4	
Abaixo de 3,25	Bom	Abaixo de 15,8	

*Chefes de família com renda inferior a dois salários mínimos

Essas informações foram adicionadas ao mapa de suscetibilidades a escorregamentos (FERRAZ *et al.*, 2018), no intuito de gerar o mapa de risco a escorregamentos para a cidade de Teófilo Otoni e adjacências de acordo com os cruzamentos observáveis no Quadro 3.3.

Quadro 3.3 – Cruzamento de informações para obtenção do mapeamento de risco a escorregamentos para Teófilo Otoni.

SUSCETIBILIDADE	VULNERABILIDADE	RISCO A ESCORREGAMENTOS
Altamente suscetíveis	Alta	Alto
Altamente suscetíveis	Alta	
Moderadamente suscetíveis	Alta	
Moderadamente suscetíveis	Média	Moderado
Moderadamente suscetíveis	Baixa	Baixo
Pouco suscetíveis	Baixa	

Não foi observada a convergência entre os critérios altamente suscetíveis e baixa vulnerabilidade.

Ainda para a composição final do mapeamento dos riscos a escorregamentos, os *layers* obtidos junto ao trabalho de Ferraz *et al.* (2017), os quais representam os eixos de crescimento urbano de Teófilo Otoni das últimas duas décadas foram adicionados, visando estabelecer (i) as tendências da expansão urbana e (ii) a proximidade com reentrâncias, cuja suscetibilidade ao fenômeno já havia sido determinada. Foram utilizadas as reentrâncias interiores à área urbana e as que guardavam proximidade com os eixos de crescimento importados de etapas anteriores, sendo as demais excluídas do mapa. Em síntese, apresenta-se fluxograma de elaboração do mapeamento de risco a escorregamentos de Teófilo Otoni, conforme Figura 3.7.

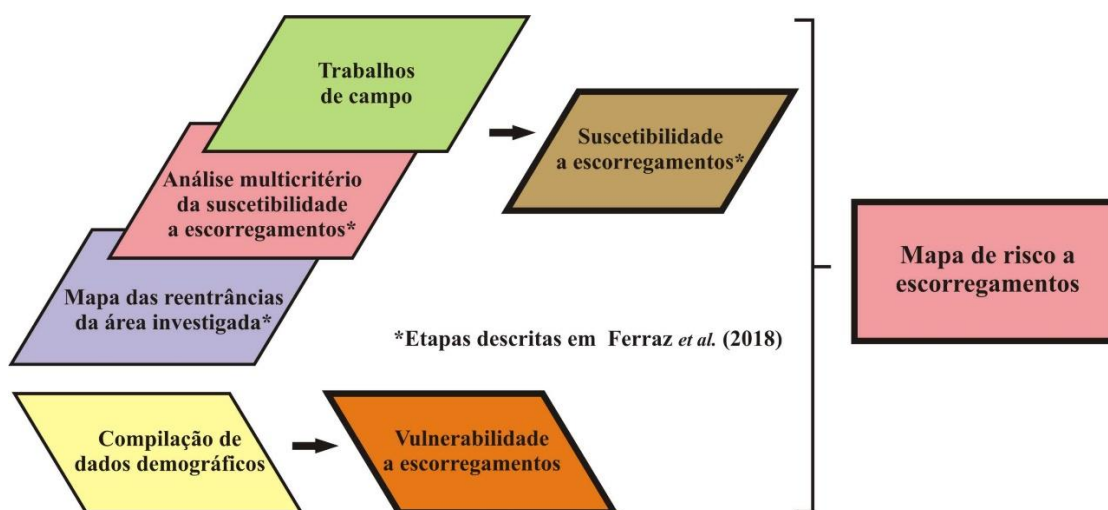


Figura 3.7 – Elaboração do mapa de risco a escorregamentos de Teófilo Otoni.

3.2 – Os trabalhos de campo

As atividades de campo ocorreram em três etapas distintas, sendo a primeira delas de caráter exploratório, visando identificação de feições do modelado e padrões de expansão do tecido urbano, assim como as interrelações entre ambos. Posteriormente, um segundo esforço visou a avaliação das calhas e planícies fluviais dos principais cursos d'água que drenam a cidade de Teófilo Otoni e, mais tarde, etapa que objetivou reconhecer a morfologia e coberturas superficiais de reentrâncias existentes no relevo da área investigada.

As duas últimas, além de focar objetos e possuir objetivos específicos, se desenrolaram em momentos cronologicamente distintos, razões pelas quais são apresentadas individualmente.

3.2.1 – As calhas e planícies fluviais de Teófilo Otoni

Os trabalhos de campo que visaram reconhecimento e avaliação das calhas e planícies fluviais do Rio Todos os Santos e seus principais afluentes, no interior do tecido urbano de Teófilo Otoni, consistiram principalmente em coleta de informações a respeito dessas áreas, com foco principal nas estruturas urbanas eventualmente presentes e demais formas de uso e ocupação do solo às margens dos cursos d'água. Essas atividades ocorreram no período compreendido entre agosto a setembro de 2016, inicialmente focados no Rio Todos os Santos e, posteriormente, em seus afluentes mais importantes, a saber: Rio Santo Antônio e Rio São Jacinto. Esses foram definidos em função (i) da extensão no interior da área urbana, (ii) por se tratar de cursos d'água não canalizados ou com canalização aberta, possibilitando acesso e visualização, (iii) histórico de inundações³¹ e (iv) pela intensidade da ocupação das suas margens e planícies fluviais. Buscou-se, como regra geral, registrar características dos terrenos, naturais ou advindas de alterações urbanas, que possam se relacionar a alterações no sistema hidrológico correlacionáveis a inundações ou alagamentos, como a supressão de setores meandantes por canalizações, ou existência de obstáculos ao fluxo dos rios.

Em todos os casos, num primeiro momento, tendo como objeto as calhas fluviais, tratou-se de determinar os trechos dos canais que apresentam intervenções diretas no leito, como gabiões ou outras formas de intervenção na malha hidrográfica. Utilizando-se de pontos físicos de referência, a exemplo de pontes ou passarelas, os rios foram seccionados em trechos específicos de acordo com as características verificadas. Foram também identificados pontos

³¹ Segundo dados do Corpo de Bombeiros e Polícia Militar.

de estrangulamento ou estreitamento das calhas fluviais, que variavam de construções residenciais ou comerciais, pontes e aterros. Para esta tarefa, quando não havia referenciais materiais facilmente identificáveis, a exemplo de edificações, pontes ou demais estruturas urbanas facilmente reconhecíveis nas imagens *Google Earth Pro*, as coordenadas locais foram determinadas com a utilização de ferramentas de posicionamento global (GPS).

Um segundo esforço objetivou examinar o uso e ocupação do solo nas áreas marginais aos cursos d'água, tendo sido identificadas aquelas (i) ocupadas por edificações, ruas ou demais aparelhos urbanos; (ii) com predominância de extratos vegetativos de diferentes portes e estados de degradação; e (iii) de solo exposto ou aterro. Atenção especial foi dedicada para as relações entre a localização das residências existentes nessas áreas e os cursos d'água, no sentido de identificar aquelas que apresentavam moradias muito próximas às margens dos canais, ou ainda as que foram construídas sobre o leito fluvial.

Buscou-se reconhecer, em campo, as feições do modelado que se caracterizam, do ponto de vista hidrogeomorfológico, como zonas concentradoras ou dispersoras do escoamento superficial em áreas que registram recorrência de alagamentos e inundações. Nessas porções da cidade, cicatrizes dos fluxos superficiais ou quaisquer outros indícios de concentração da precipitação foram avaliados, objetivando análise do pano de fundo geomorfológico como elemento condicionante dos fenômenos. Essas informações foram utilizadas como elemento auxiliar na elaboração dos mapas de concentração do escoamento superficial e de risco de inundações e alagamentos de Teófilo Otoni. Ainda com relação a essas áreas, o padrão de ocupação urbana foi investigado em campo, uma vez que a impermeabilização dos solos, existência de canais ou estruturas de direcionamento do escoamento superficial, degradação das vertentes ou ainda canalização de leitos fluviais mereceram destaque na avaliação das áreas de risco de inundações e alagamentos.

3.2.2 – *As reentrâncias da área investigada*

Os trabalhos de campo efetuados junto às reentrâncias do terreno objetivaram (i) avaliar no campo parâmetros físicos dos solos, (ii) identificar possíveis discontinuidades hidráulicas ou potenciais superfícies de ruptura no interior desses solos e (iii) reconhecer cicatrizes de escorregamento, identificando suas morfologias mais importantes.

As reentrâncias avaliadas foram definidas por serem compreendidas como áreas similares àquelas em que já ocorreram escorregamentos, considerando-se ainda viabilidade de acesso e segurança para as etapas de campo³². Essas feições foram alvo de investigações durante os meses de junho a setembro de 2018, em dois momentos distintos, a saber: (i) jornadas exploratórias e (ii) trabalhos de campo. Cautela especial foi destinada à morfologia das áreas a serem avaliadas em campo, buscando selecionar aquelas que configuravam curvaturas convergentes do terreno, uma vez que os escorregamentos ocorridos na área investigada foram verificados principalmente nestes contextos, pouco dependentes da forma em perfil (curvatura vertical) das vertentes – Figura 3.8.

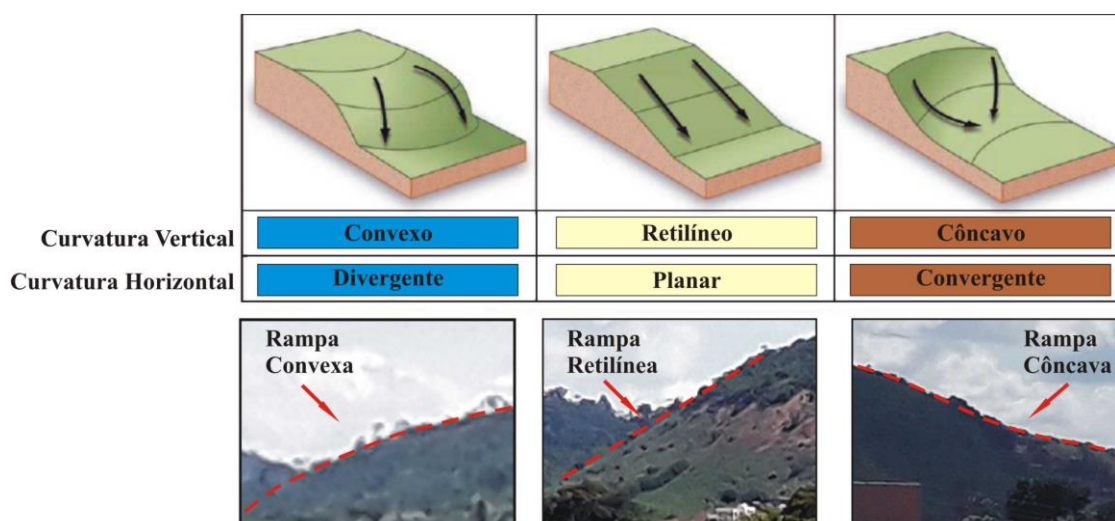


Figura 3.8 – As formas do terreno em Teófilo Otoni, a partir de Bierman e Montgomery (2014).

As jornadas exploratórias se referem à seleção das reentrâncias a serem avaliadas em campo. A partir de uma seleção de aproximadamente 15 dessas feições, com potencial para investigações, procedeu-se à visita prévia às áreas, as quais objetivaram verificar a possibilidades de acesso e viabilidade de avaliação de perfis de solos e demais coberturas superficiais – especialmente a existência de cortes de talude, cicatrizes de escorregamentos ou afloramentos rochosos. Foi observada ainda a importância em se avaliar as coberturas presentes em distintos setores das reentrâncias, como topo, vertente (terço superior, médio e inferior) e piso. Essa atenção se justifica na importância em se compreender melhor a distribuição espacial dessas coberturas, não apenas em transectos, mas em panorama tridimensional.

³² Maiores detalhamentos no Capítulo 6.

Posteriormente, em campo, maior ênfase se deu à avaliação das características morfológicas das coberturas superficiais presentes nessas reentrâncias, especialmente aquelas que, no local, podem fornecer informações acerca da suscetibilidade a escorregamentos, como estrutura, textura, presença de materiais grosseiros e calhaus, espessura dos horizontes ou camadas, cor, porosidade e existência de possíveis discontinuidades hidráulicas. Essas coberturas, na maior parte dos casos, foram avaliadas em taludes situados nas superfícies somitais e vertentes das reentrâncias, muitos deles resultantes de processos erosivos ou de movimentação de massa sofridos nessas concavidades. Em alguns casos, taludes originários de cortes de terrenos para construção civil ou para abertura de vias de circulação foram utilizados para avaliação, uma vez que possibilitam visualização dos materiais.

No que diz respeito à espessura dos horizontes, estrutura, textura e cor, tais avaliações seguiram parâmetros determinados pelo “Manual de descrição e coleta de solo no campo” (SANTOS *et al.* 2017). Dessa maneira, após identificados os horizontes ou camadas, mediu-se a espessura de cada um deles a partir do zero (0) da trena na superfície do perfil, utilizando medição em centímetros. Quando foram verificadas transições irregulares, considerou-se aquela predominante. Para a textura, entendida como “proporção relativa das frações granulométricas – areia (a mais grossa), silte e argila (a mais fina)” (SANTOS *et al.*, 2017, p.17), procedeu-se à estimativa por meio de sensações táteis, seguindo método proposto no manual. A estrutura dos solos e coberturas superficiais foi obtida pela “avaliação visual das unidades estruturais com vista desarmada” (SANTOS *et al.*, 2017, p.22), a partir de amostras retiradas dos perfis obtidos junto aos taludes encontrados nas reentrâncias, utilizando-se como apoio as ilustrações esquemáticas presentes no referido manual. A porosidade foi avaliada com vista desarmada e lupa de aumento de 10x, objetivando avaliar eventuais discrepâncias nessa característica morfológica entre camadas do solo. A determinação da cor do solo em campo seguiu critérios definidos por Santos *et al.* (2017), sendo avaliada na amostra umedecida, uma vez que, para os autores, “a maioria dos critérios em que a cor é decisória (...) refere-se à amostra ligeiramente umedecida”, e que, “normalmente, para o horizonte B determina-se a cor apenas com a amostra úmida” (SANTOS *et al.*, 2017, p.14). Todas as avaliações de cor foram baseadas na Carta de Cores Munsell para Solos (MUNSELL SOIL COLOR COMPANY, 2013).

As potenciais superfícies de ruptura ou eventuais discontinuidades hidráulicas foram identificadas por meio da comparação das características dos horizontes ou camadas. Nos casos em que parâmetros como estrutura, textura e ou porosidade variaram consideravelmente entre duas seções das coberturas superficiais em uma pequena distância vertical, dos contatos entre

coberturas ou solos e rochas e, especialmente, quando visualmente verificáveis, tais características foram compreendidas como potenciais descontinuidades, sendo demarcadas e medida a sua profundidade – a partir da superfície.

Ainda em campo, foram observados materiais que ocupam o piso das reentrâncias, bem como afloramentos rochosos presentes em seus terços inferiores e eixos de drenagem. Nesses setores, comumente também estavam expostas rochas em variados estágios de alteração, as quais foram avaliadas em campo.

3.3 – Análise e integração dos resultados

Os trabalhos desenvolvidos visaram, em primeira análise, subsidiar interpretação da espacialização dos riscos a escorregamentos e inundações em Teófilo Otoni. Além disso, foram desenvolvidas para embasar a análise dos condicionantes à ocorrência dos fenômenos na área investigada, tendo sido apresentadas respeitando a organização proposta para as tarefas e cronologia do seu desenvolvimento (Figura 3.9).

Todas essas etapas tiveram como base o referencial teórico desenvolvido, o qual norteou a o ordenamento das tarefas de gabinete, trabalhos de campo e interpretação dos resultados adquiridos nos distintos momentos de desenvolvimento da pesquisa. Dessa maneira, o estabelecimento da área investigada, dos objetivos do trabalho e o referencial teórico proposto figuram como palco das ações desenvolvidas.

Posteriormente, levantamento de informações fisiográficas, notadamente geologia, solos e geomorfologia, foram avaliadas como pano de fundo para o crescimento urbano da cidade de Teófilo Otoni. Esse esforço permitiu correlacionar não apenas as intrincadas relações entre os elementos naturais verificados na área investigada, mas, especialmente, quais os vetores históricos de crescimento da cidade podem ser identificados, bem como os cenários resultantes.

Dessa maneira, é possível afirmar que não apenas referencial teórico, mas também a compreensão das dimensões de Teófilo Otoni no tempo e no espaço configuram base para a interpretação de todos os resultados advindos das etapas de campo e gabinete.

A partir de então, determinado o alicerce sobre o qual se edificou a pesquisa, os resultados dos levantamentos relacionados ao clima – em especial ao regime de chuvas de Teófilo Otoni –, dados de vazão e direções dos fluxos superficiais foram observados para fornecer panorama

da suscetibilidade a inundações que se verifica em Teófilo Otoni. Os dados do Corpo de Bombeiros e Polícia Militar, ao fornecerem a dimensão humana espacializada do fenômeno, contribuíram para a interpretação do risco e elaboração do mapa de risco a inundações e alagamentos de Teófilo Otoni – o qual é também fruto da convergência de mapas previamente elaborados e informações advindas dos trabalhos de campo.

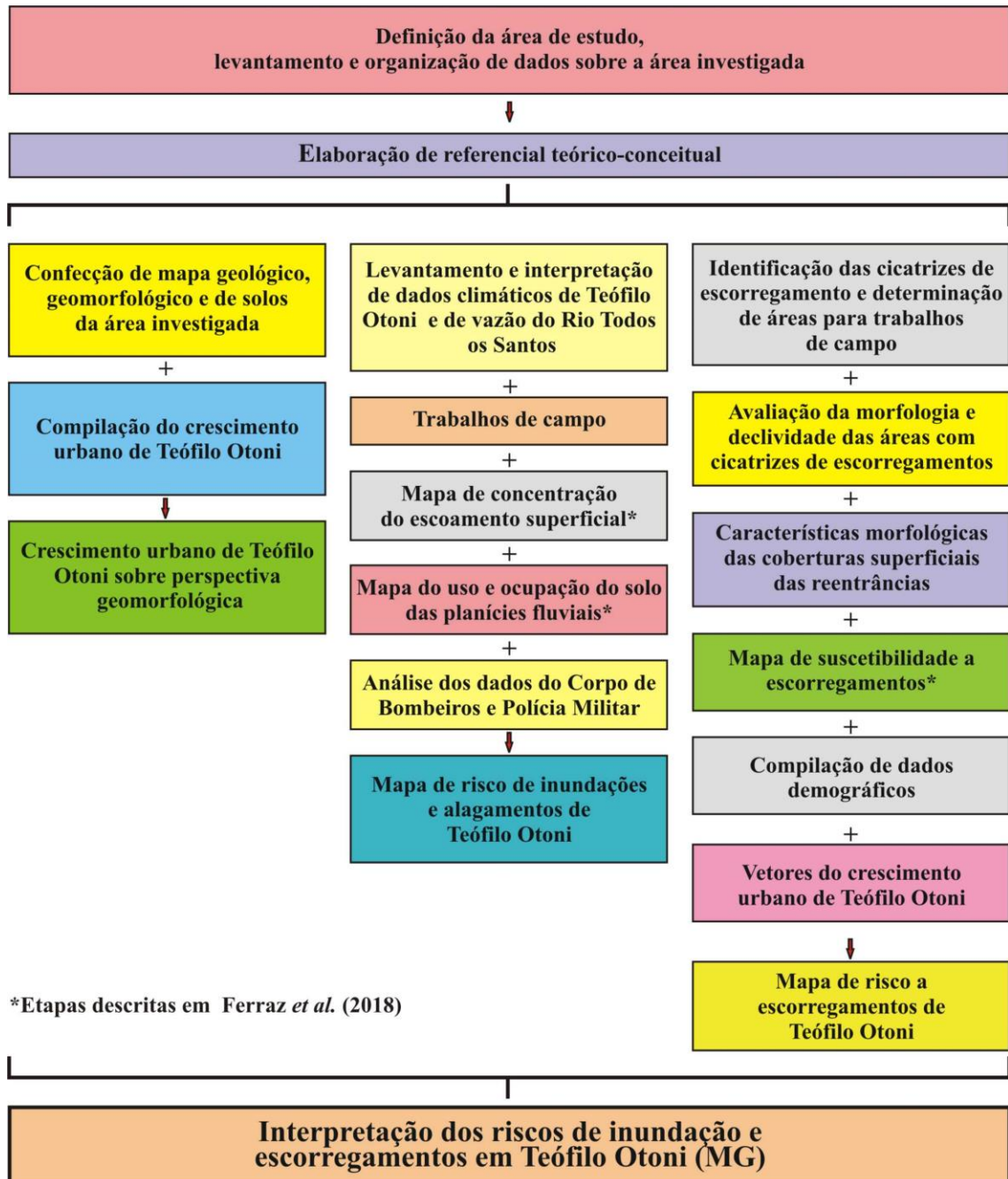


Figura 3.9 – Fluxograma simplificado das etapas metodológicas de elaboração do trabalho.

De modo semelhante, a avaliação da suscetibilidade a escorregamentos se valeu da identificação das cicatrizes do fenômeno ocorrido no passado, o que possibilitou a compreensão dos condicionantes e gatilhos para a ocorrência do movimento. Os trabalhos de campo resultaram em informações fundamentais para a compreensão do panorama que pode levar à deflagração dos escorregamentos, tendo sido assim possível propor mapa de suscetibilidade a escorregamentos para a área investigada. Aparentemente desconexo, o esforço que culminou na identificação dos eixos de crescimento da mancha urbana de Teófilo Otoni foi, de maneira especial, importante para se compreender a exposição atual e potencial ao fenômeno, resultando na proposta de mapa de risco a escorregamentos da área investigada.

Avaliação dos resultados, quer os que se relacionam a aspectos voltados a escorregamentos, quer aqueles que se vinculam às inundações, proporcionaram a interpretação proposta para Teófilo Otoni frente a ambos os fenômenos, de maneira integradora e pormenorizada. Mesmo que os resultados possibilitem uma primeira aproximação para os temas, claramente apontando para a necessidade de pesquisas futuras que elucidem questões ainda em aberto, o desencadeamento metodológico, representado por meio da Figura 3.8, favoreceu conexão lógica das informações e análise conjunta dos resultados.

CAPÍTULO 4

A ÁREA INVESTIGADA: TEÓFILO OTONI NO TEMPO E NO ESPAÇO

A área investigada nesse trabalho, quadrante que tem na sua porção central a cidade de Teófilo Otoni (Figura 4.1), se localiza a 450 km de Belo Horizonte – capital de Minas Gerais – e faz parte da mesorregião Vale do Mucuri, no nordeste do estado, sendo considerada cidade polo regional. Para Barroso e Barroso (2014, p.1), a “mesorregião do Vale do Mucuri localiza-se no nordeste do estado de Minas Gerais”, e é “constituída por vinte e três municípios, sendo Teófilo Otoni sua cidade polo”.

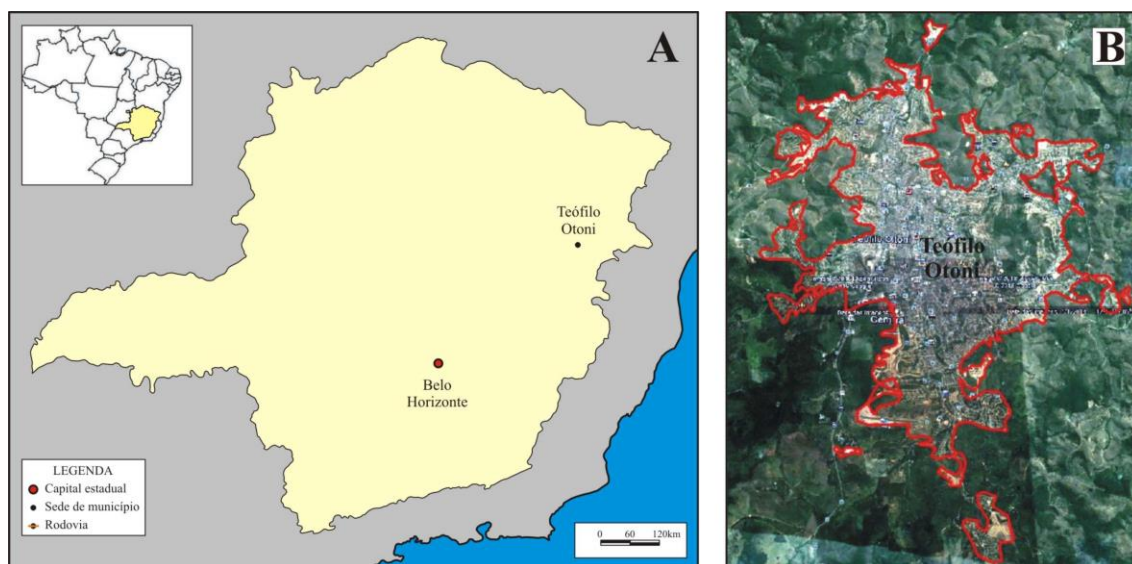


Figura 4.1 – Localização de Teófilo Otoni no estado de Minas Gerais (A) e área total investigada, com destaque para o limite urbano de Teófilo Otoni (B), conforme Ferraz *et al.* (2016a).

No último censo demográfico, do ano de 2010, o município de Teófilo Otoni possuía população de 134.745 habitantes, distribuídos em uma área total de 3.242,270 km² (IBGE, 2014). Mais recentemente, a população total estimada pode ter atingido 141.505 habitantes

(IBGE, 2016). O perímetro da área urbana da cidade de Teófilo Otoni, verificável por meio da Figura 4.1–B, abarca área total de 19,620 km², ao passo que a área total de análise é um quadrante com 64,173km² (Figura 4.1–B).

Elaborar um panorama do contexto geológico-geomorfológico da porção territorial que é foco deste trabalho, novamente, esbarra na carência de informações bibliográficas ou de mapeamentos sistemáticos, ambos em escala de detalhe, que foquem a área investigada. Há pesquisas com enfoques regionais, nas quais Teófilo Otoni é citada ou mesmo analisada, mas sem riqueza de detalhamento, sendo raros os estudos que abordem especificamente a cidade e seu entorno.

Por estes motivos, traça-se no tópico seguinte um esforço em apresentar caracterização da área investigada, elaborada por meio da literatura que aborde geologia, geomorfologia, solos e clima da cidade e adjacências imediatas, objetivando fornecer um panorama que subsidie compreensão sobre a fisiografia da área em análise.

4.1 – A fisiografia da área investigada

O arcabouço litoestrutural da área foco desta pesquisa é composto por rochas de variado grau metamórfico e granitoides, ambos proterozoicos, truncados por lineamentos brasileiros de direções principais NE-SW e secundárias NW-SE (FERRAZ, 2006). As unidades litológicas presentes no substrato da área investigada foram mapeadas pelo Projeto Leste (CPRM, 1996; PAES, 2001) sendo então denominadas Formação Tumiritinga e Tonalito São Vitor, cujo arranjo geométrico e espacial pode ser verificado com auxílio da Figura 4.2.

Segundo Paes (2001, s.p.), a Formação Tumiritinga pode ser assim descrita:

O litotipo principal é um biotita gnaisse cinza, fino ou, ocasionalmente, médio, com bandamento submilimétrico a poucos milímetros, por vezes difuso, definido por níveis mais quartzo-feldspáticos e níveis mais biotíticos, sendo que estes últimos, não raramente, conferem um aspecto xistoso à rocha. Subordinadamente, ocorrem intercalações de biotita-quartzo xisto feldspático, cinza, fino e de calcissilicática verde-clara, fina, comumente mostrando um bandamento fino.

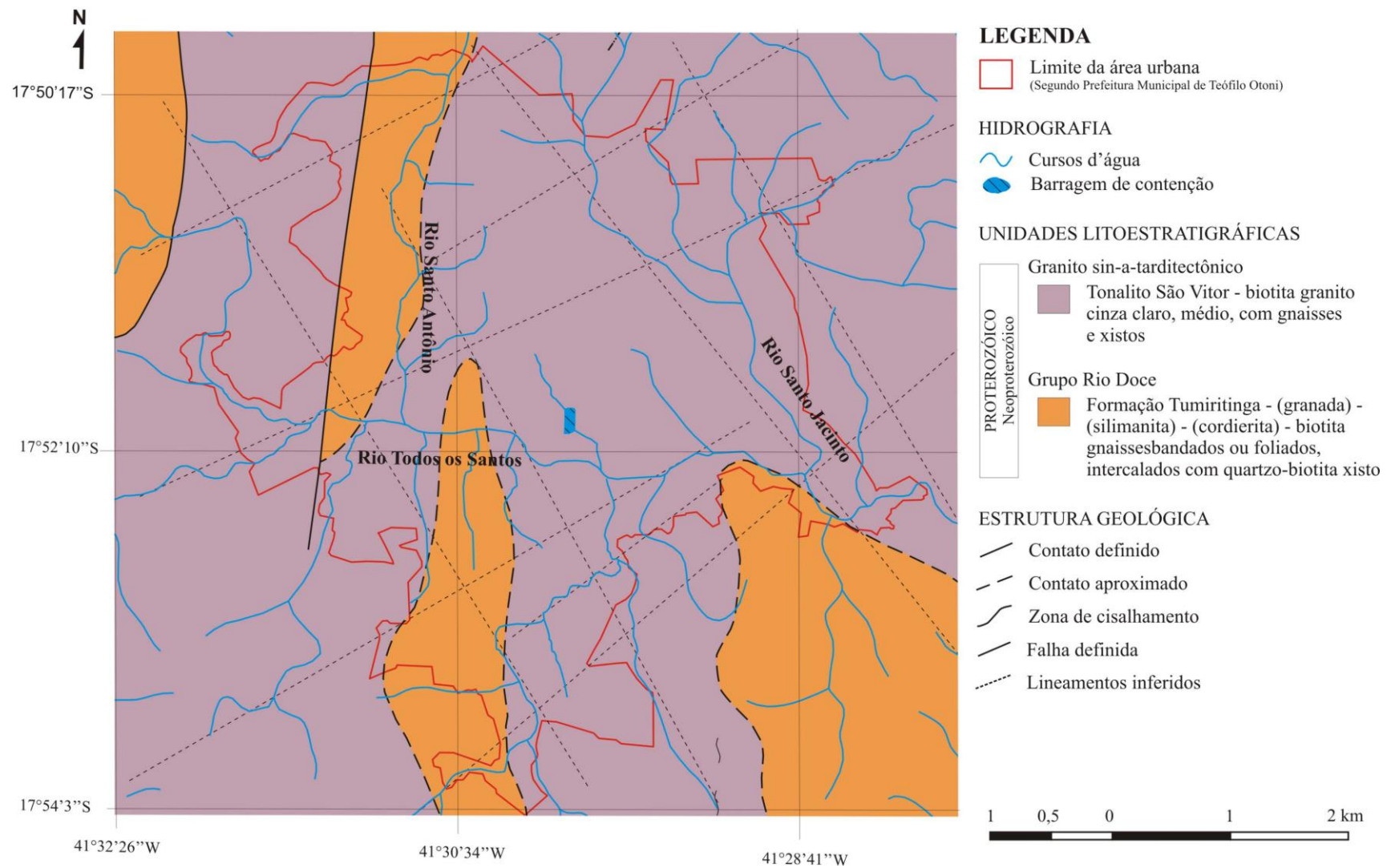


Figura 4.2 – Mapa Geológico da área investigada (CPRM, 2001).

O mesmo autor dessa maneira descreve o Tonalito São Vitor:

Os tipos petrográficos presentes são biotita-tonalito, hornblenda-biotita tonalito e, subordinadamente, biotita granodiorito. Estas rochas têm cor cinza, granulação média a grossa, são normalmente foliadas e, ocasionalmente, apresentam megacristais centimétricos de feldspato mostrando textura de fluxo magmático. Em raros pontos foram observados autólitos de composição tonalítica e granulação fina e, mais comumente, xenólitos de supracrustais do Grupo Rio Doce (PAES, 2001, s.p.).

Em campo é possível notar como essas diferenças litológicas se traduzem no aspecto da paisagem. As rochas da Formação Tumiritinga (Figura 4.3 A e B), na maioria das vezes, apresentam textura xistosa (Figura 4.3 – A') ou configuram gnaisses com bandamentos milimétricos a centimétricos (Figura 4.3 – B'), ambos com marcante presença de biotita, sendo raramente visíveis na paisagem na forma de afloramento rochoso, especialmente quando se tratam dos xistos. Exceção deve ser feita a poucos casos em que a escavação fluvial expõe estas rochas.

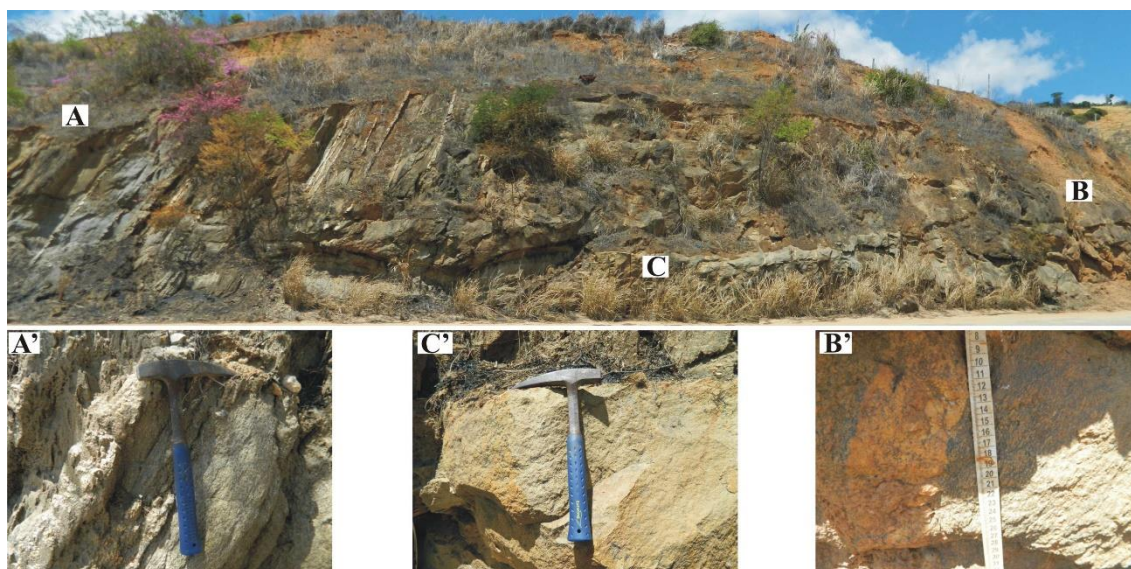


Figura 4. 3 – Afloramento da Formação Tumiritinga (A e B, com detalhes em A' e B'), intrudida pelo Tonalito São Vitor (C, com detalhes em C'), a leste de Teófilo Otoni.

Assim, apresentam-se em superfície quase unicamente em cortes para abertura de estradas ou outras vias de circulação, circunstâncias em que se exibem alteradas e friáveis, como os xistos que podem ser vistos na Figura 4.3 A e A'. Demonstram ser facilmente intemperizáveis, pois geralmente estão recobertas por solos de profundidades variáveis, o que também pode ser verificado por meio da Figura 4.3.

O Tonalito São Vitor (Figura 4.3 – C) é rocha menos incomum na forma de afloramento, embora em poucos casos aflore no interior da área investigada. Reage com

muita solidez aos golpes do martelo, o que atesta sua resistência superior àquelas da Formação Tumiritinga. Afloramentos naturais dessa rocha são visíveis apenas em concavidades das vertentes de mais elevadas declividades, embora mesmo nesses casos também se apresentem alteradas. Em raros casos, como na Figura 4.3 – C’, são encontradas de forma pouco alterada, em geral quando se trata de exposições resultantes de cortes antropogênicos.

Convém ressaltar que o produto cartográfico utilizado neste trabalho foi selecionado por ser aquele que apresente maior nível de detalhamento, pois não foram encontrados mapas confiáveis em escala que melhor se adequasse aos objetivos propostos. Por este motivo, ao mapeamento do Projeto Leste foram acrescentados lineamentos inferidos a partir de análise regional da drenagem, objetivando fornecer maior riqueza de informações. Para definir estes lineamentos foram verificados trechos retilíneos dos canais fluviais, mudanças bruscas na direção da drenagem (cotovelos) ou alinhamento de canais, apresentados na Figura 4.2 como lineamentos inferidos.

No que diz respeito ao relevo, a área investigada se situa no interior da unidade Planalto dos Rios Jequitinhonha/Mucuri (IBGE, 2006), unidade entendida por Ferraz e Valadão (2006) como planalto de dissecação fluvial estruturalmente direcionada. Ferraz *et al.* (2016a, s.p.) descreveram o relevo da área investigada como “áreas dissecadas por erosão fluvial, em quadro geomorfológico caracterizado por vertentes policôncavas, de elevada declividade e vales em ‘V’ encaixados, alguns de fundo chato (...), não sendo comuns amplas planícies fluviais”. Os autores propuseram um mapa de unidades de relevo da área, utilizando como critérios (i) declividade; (ii) altitude e (iii) grau de dissecação – conforme Figura 4.4.

As unidades de relevo identificadas por Ferraz *et al.* (2016a) podem ser assim consideradas:

Unidade 1 – Área de morfologia moderadamente plana e alongada, que corresponde às áreas de menores altitudes e onde se concentra a maior parte do tecido urbano de Teófilo Otoni.

Unidade 2 – Unidade de relevo com maior grau de dissecação fluvial, não sendo, porém, a mais declivosa. Corresponde ao patamar topográfico intermediário da área investigada.

Unidade 3 – Zona de maiores amplitudes topográficas e vertente de mais elevada declividade (amplas vertentes policôncavas).

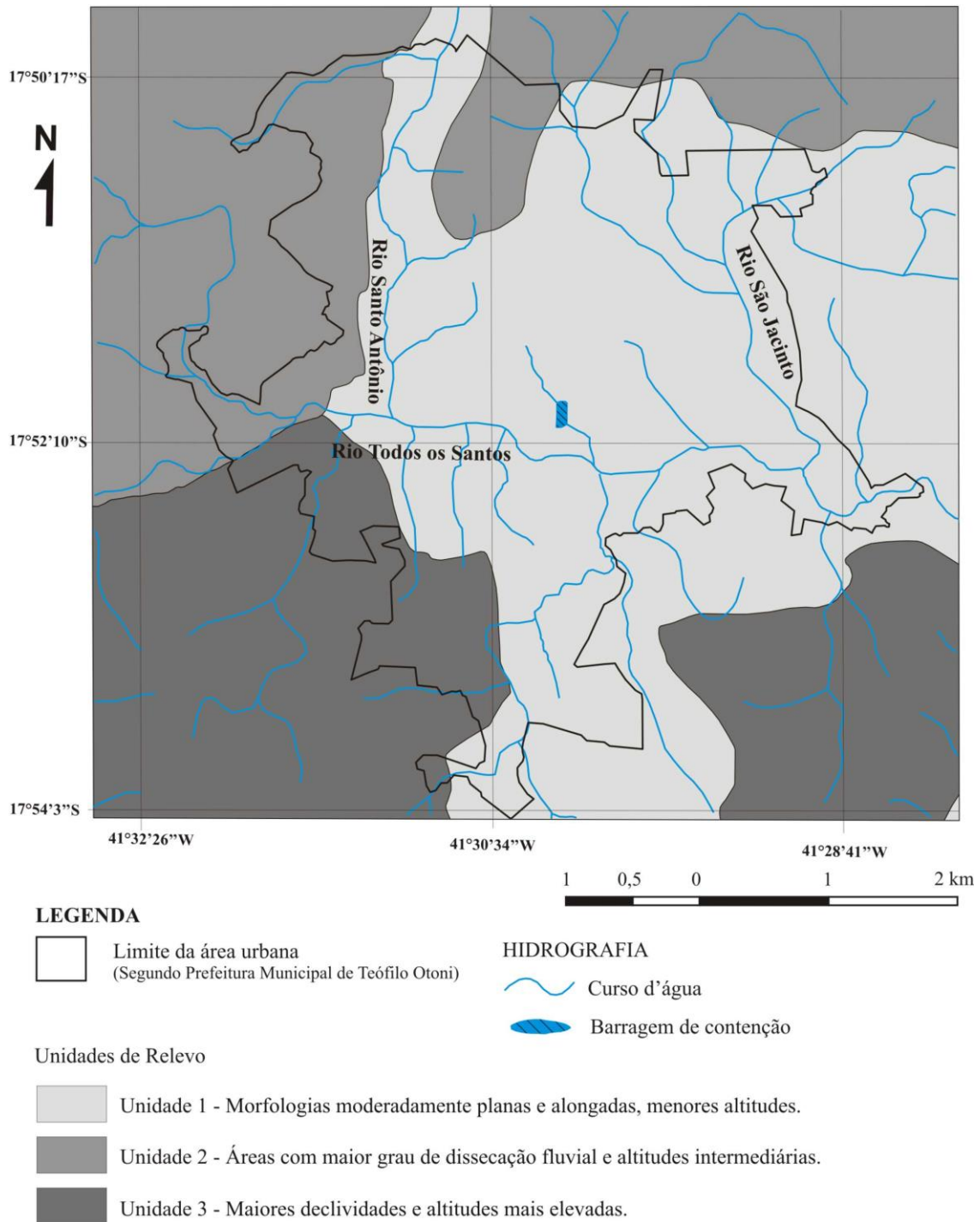


Figura 4.4 – Unidades de relevo da área investigada, segundo Ferraz *et al.* (2016a).

Assim como há carência de literatura específica à geologia da área investigada, circunstância semelhante ocorre no que diz respeito a estudos exploratórios que focam os solos, não tendo sido encontrados mapeamentos e informações específicos a este recorte

do território nacional. Para Almeida (2016), na Bacia do Rio Mucuri³³, predominam Cambissolos, Gleissolos, Latossolos, Argissolos, solos de mangue, Espodossolos e Afloramento rochosos. Neste mapa pode-se verificar que no município de Teófilo Otoni destacam-se Argissolos e Latossolos, os primeiros predominantes na área investigada. Ferraz e Valadão (2006) entendem que Latossolos e Argissolos ocorrem com maior frequência, ao passo que Ferraz *et al.* (2016a) explicam que predominam Latossolos e Argissolos, em geral vermelho-amarelos, nas porções de cimeira planas e alongadas. Para os autores esses dão lugar a Argissolos e Cambissolos nas feições mais declivosas, além de solos hidromórficos ligados à rede fluvial.

É válido ressaltar que não foram encontrados levantamentos ou mapeamentos em escala de detalhamento e, com tal ressalva, apresenta-se mapa dos solos predominantes na área investigada (Figura 4.5), o qual auxilia na compreensão da sua fisiografia. Destaca-se ainda que, no mapeamento inicial, as ordens dos solos presentes na área estão apresentadas como Latossolos e Podzólicos. Estes últimos, em respeito à literatura citada e em função das características descritas pelo Projeto Radambrasil (IBGE, 1987), são considerados como Argissolos, conforme o atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013).

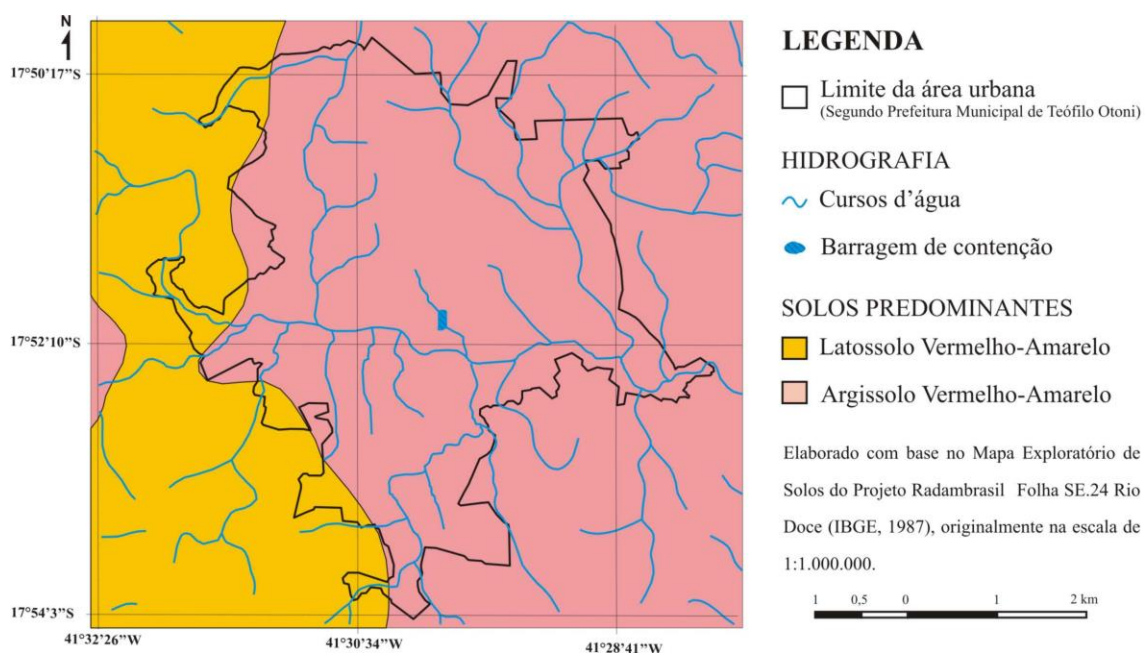


Figura 4.5 – Solos predominantes na área investigada (SANTOS *et al.*, 1987).

³³ O Rio Todos os Santos, principal curso d'água que drena a área investigada, é tributário do Rio Mucuri, estando toda área no interior da Bacia do Mucuri.

Martins (2010) considera o clima regional, ao menos no que diz respeito à Bacia do Rio Mucuri, como tropical úmido, com verão e inverno bem demarcados. É possível, de fato, compreender o clima da área investigada como tropical, o qual apresenta duas características principais: temperaturas médias superiores aos 18°C (REBOITA *et al.*, 2015) e índice pluviométrico médio de 1009mm ao ano (FERRAZ *et al.*, 2016b), concentrado em estação chuvosa (ALMEIDA, 2016), cuja duração se estende de outubro a março e na qual ocorre cerca de 80% (oitenta por cento) da precipitação total anual (FERRAZ *et al.*, 2016b).

4.2 – Considerações sobre a geomorfologia e o crescimento urbano de Teófilo Otoni

O Artigo 1º do Plano Diretor de Teófilo Otoni preconiza, em seu § 2º:

Para o cumprimento de sua função social, a propriedade deve atender aos critérios de ordenamento territorial, às diretrizes de desenvolvimento e às demais exigências desta Lei, respeitados os dispositivos legais e assegurados:

I - o aproveitamento socialmente justo e racional do solo;

II - a utilização adequada dos recursos naturais disponíveis, bem como a proteção, a preservação e a recuperação do meio ambiente;

III - o aproveitamento e a utilização da propriedade compatíveis com a segurança e a saúde dos usuários e dos vizinhos (TEÓFILO OTONI, 2008, s.p.).

A partir do referido documento entende-se que o Poder Público Municipal considera que os critérios de ordenamento territorial devem levar em conta o aproveitamento racional do solo e a utilização adequada dos recursos naturais, além da proteção e preservação do meio ambiente. O Plano Diretor, pelo menos em princípio, apresenta-se coerente com a literatura geomorfológica, a qual considera que planejar o uso e ocupação do solo é, de fato, indispensável para se alcançar a referida utilização adequada dos recursos naturais disponíveis, ou a proteção, a preservação e a recuperação do meio ambiente.

Apesar da adequação da legislação ao pensamento científico predominante, Ferraz *et al.* (2016a, s.p.), afirmam que a malha urbana de Teófilo Otoni “começou a se desenvolver ao longo das margens dos principais canais fluviais que cortam a cidade e, uma vez ocupadas estas áreas, o crescimento passou para encostas de morros”. Segundo os autores, “a geometria da malha urbana configura alongamento na direção norte-sul

concordante com o Ribeirão Santo Antônio”, havendo também “um segundo alinhamento na mesma direção (...) ao longo do vale do Ribeirão São Jacinto”. Identificaram ainda que a porção centro-sul da cidade “exibe um prolongamento no eixo leste-oeste, determinado pela planície aluvial do Rio Todos os Santos”, e que a “mais importante malha viária de Teófilo Otoni (...) está de acordo com a geometria proposta, especialmente no que diz respeito ao Ribeirão Santo Antônio e Rio Todos os Santos” (FERRAZ *et al.* 2016a, s.p.). De modo resumido, para os autores, a formação da malha urbana se processou, inicialmente, ao longo das planícies fluviais, as quais ainda que não sejam amplas, configuram as feições mais planas existentes na cidade, motivo pelo qual tanto a área central quanto os bairros mais antigos foram edificadas ao longo das margens destes rios. Após ocupadas tais áreas, a evolução do tecido urbano se processou nas vertentes, comumente declivosas, que exemplificam o modelado de dissecação fluvial predominante no município.

Mais recentemente, Batella (2018, p.793), valendo-se de “trabalhos de campo, análise de dados secundários e técnicas de mapeamento”, discutiu as transformações no uso do solo urbano em Teófilo Otoni que, inicialmente, apresentava-se composta por “alguns núcleos descontínuos (em função das características do sítio urbano) formados por agrupamentos de colonos, trabalhadores agrícolas” (BATELLA, 2018, p.799) e que, nas últimas décadas:

(...) já ocupadas praticamente todas as áreas de topografia favorável nas adjacências do núcleo planejado, as expansões da cidade passam a se dar sem qualquer orientação preestabelecida na legislação, pela ocupação dos morros adjacentes ao núcleo inicial e pelos vales, dando uma configuração “tentacular” à malha urbana” (BATELLA, 2018, p.780).

Ainda que esta evolução da mancha urbana seja anterior à legislação vigente no município, há que se considerar, a respeito do crescimento de Teófilo Otoni nas duas últimas décadas, que:

(...) o padrão de expansão urbana não revela qualquer sinal de progresso no ordenamento territorial ou indicativo de que a geomorfologia tenha sido considerada. Os fatos parecem apontar para uma repetição dos erros do passado: após ocupadas as margens dos canais fluviais e planícies de inundação, o tecido urbano “subiu os morros”, e agora o crescimento se volta para áreas ainda mais impróprias (FERRAZ *et al.*, 2016a).

Diante desse panorama, com objetivo de aprofundar as possíveis relações entre a Geomorfologia e a expansão da área urbana de Teófilo Otoni – além das prováveis consequências deste processo – Ferraz *et al.* (2017) elaboraram mapa das áreas

impermeabilizadas na cidade durante as últimas quatro décadas, a saber: 1980, 1990, 2000 e 2010 (Figura 4.6)³⁴.

Segundo os autores, no ano de 1986 o tecido urbano da cidade era formado por “células desconexas, evidenciando núcleos ocupacionais afastados”, mas “entre os anos de 1986 e 1996 houve uma intensa ocupação do solo, eliminando a característica de fragmentação espacial existente até então”. Esse crescimento das áreas impermeabilizadas foi reconhecido pelos autores como adensamento urbano, uma vez que ocorreu “quase exclusivamente no interior dos limites da cidade, que praticamente se mantiveram inalterados” (FERRAZ, *et al.*, 2017, p.14-15).

³⁴ Foram utilizadas 3 (três) imagens do sensor TM (Thematic Mapper), obtidas por meio de passagens periódicas do satélite Landsat-5, órbita/ponto 216/72, com datas de passagem nos dias 30/06/1986, 05/08/1996, 27/10/2006, e uma imagem do sensor CCD (High Resolution CCD Camera), obtida por meio do satélite CBERS-2, com data de passagem no dia 11/09/2016, respectivamente.

Foi elaborada classificação supervisionada, método utilizado quando se tem conhecimento prévio sobre as classes na imagem (LEITE *et al.*, 2012), de modo a permitir ao analista definir sobre a mesma as áreas amostrais das classes, utilizadas pelos algoritmos de classificação para identificar na imagem os pontos representativos das classes (FIGUEIREDO, 2005). Neste trabalho, utilizou-se o método da Máxima Verossimilhança (Maxver) para executar a classificação supervisionada. Em concordância com Izippato *et al.* (2012), o método de Maxver determina que o usuário identifique alguns dos pixels pertencentes às classes desejadas, neste caso área impermeabilizada e área não impermeabilizada, e o próprio software executa a tarefa de localizar os demais pixels pertencentes a essas classes.

Para interpretação visual da área de estudo utilizou-se definições propostas no estudo de Silva e França (2013), que dissociou a área de interesse em classes, obtendo-se assim a classe impermeabilizada – a qual se caracteriza pelas áreas com solo desnudo e desprovido de qualquer tipo de vegetação e com cobertura artificial – e da classe não impermeabilizada, em que considerou-se as (i) áreas com predominância de vegetação nativa e remanescente, estruturalmente mais densa e desenvolvida, com indivíduos arbóreos de grande porte; (ii) áreas com predominância de vegetação no estágio inicial de regeneração, vegetação mais rasteira com cobertura herbáceo arbustiva aberta, e também (iii) áreas de vegetação secundária em estágio médio de regeneração, bem como (iv) vegetação em estágio inicial com cobertura herbáceo-arbustiva fechada e presença predominante de formação arbustiva ou arbórea.

Utilizando o software ArcGIS 10.0 para o tratamento do banco de dados, foi elaborada a identificação das áreas amostrais para cada uma das duas classes definidas, por meio da seleção de polígonos com dez ou mais pontos de interesse, considerando amostras distribuídas em toda a área de estudo, a fim de se obter uma classificação confiável.

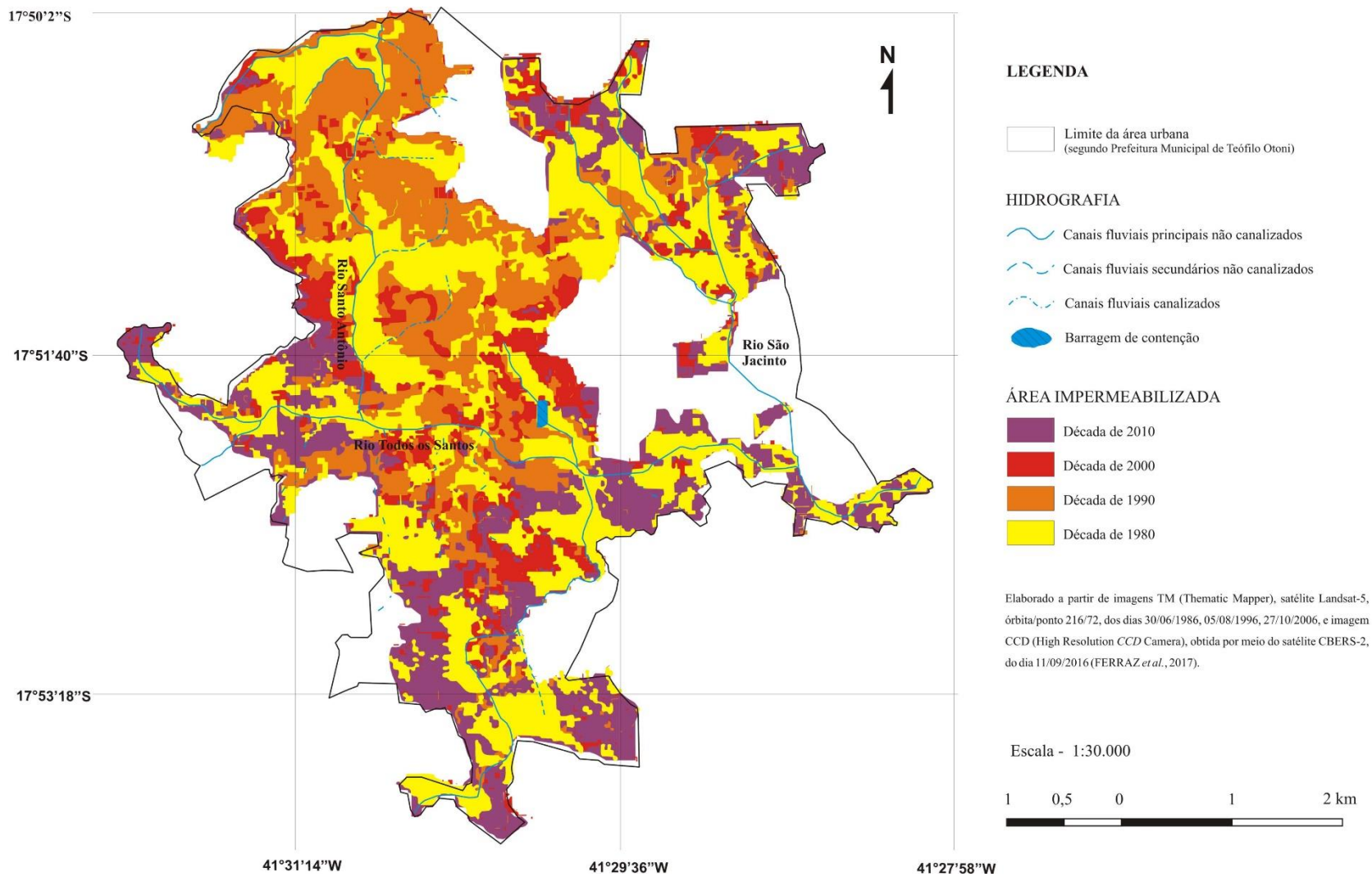


Figura 4.6 – Mapa do crescimento das áreas impermeabilizadas em Teófilo Otoni, adaptado de Ferraz *et al.* (2017).

Os autores afirmam que apenas em momentos posteriores “houve a extrapolação de seus limites territoriais para as áreas marginais, fenômeno que pode ser verificado nos anos decorridos entre 1996 a 2016 (FERRAZ, *et al.*, 2017, p.15) – Figura 4.7. Em outras palavras, entendem que na primeira década analisada configurou-se adensamento urbano, enquanto nas três seguintes evidenciou-se expansão dos limites da cidade.

Essa interpretação, todavia, merece oportuna ressalva. Ao se observar a Figura 4.6, nota-se que, de fato, o crescimento das áreas impermeabilizadas verificado durante os anos 1986 e 1996 ocorreu, em grande parte, entre as “células desconexas” que tipificavam a cidade. Isso é perfeitamente compreensível, visto que já existiam vias de acesso e circulação que interligavam essas áreas e, assim sendo, a ocupação do solo se deu por meio destes vetores.

Em outra perspectiva, observando-se a Figura 4.7, elaborada com base em critério distinto, observa-se uma realidade singular: neste mapa, ao limite da área urbana da década de 1986³⁵ foram acrescentadas as expansões ocorridas durante os intervalos (i) 1986-1996; (ii) 1996-2006 e (iii) 2006 a 2016. O objetivo, neste caso, é apresentar não apenas o crescimento das áreas impermeabilizadas – que podem ser entendidas como tecido urbano construído ou não construído –, mas sim a expansão do perímetro da cidade. Se no primeiro mapa estão representadas as áreas impermeabilizadas apenas, no segundo estão retratados os limites da área urbana (perímetro) em 1986, 1996, 2006 e 2016.

No mapa da Figura 4.6, que retrata a expansão da área urbana total, o que se observa é que se configuraram vetores de crescimento ao longo da quase totalidade o perímetro da cidade, sendo mais nítidos aqueles localizados na porção norte (Figura 4.7). Assim sendo, não ocorreu apenas adensamento urbano, mas também expansão da área total da cidade. Conclui-se, então, que dois movimentos concomitantemente se processaram entre 1986 a 1996: integração de setores desconexos da cidade (Figura 4.6) e crescimento dos seus limites, especialmente ao norte (Figura 4.7).

³⁵ Área urbana total, que incluía os espaços ainda não construídos, mas existentes entre às “células desconexas”.

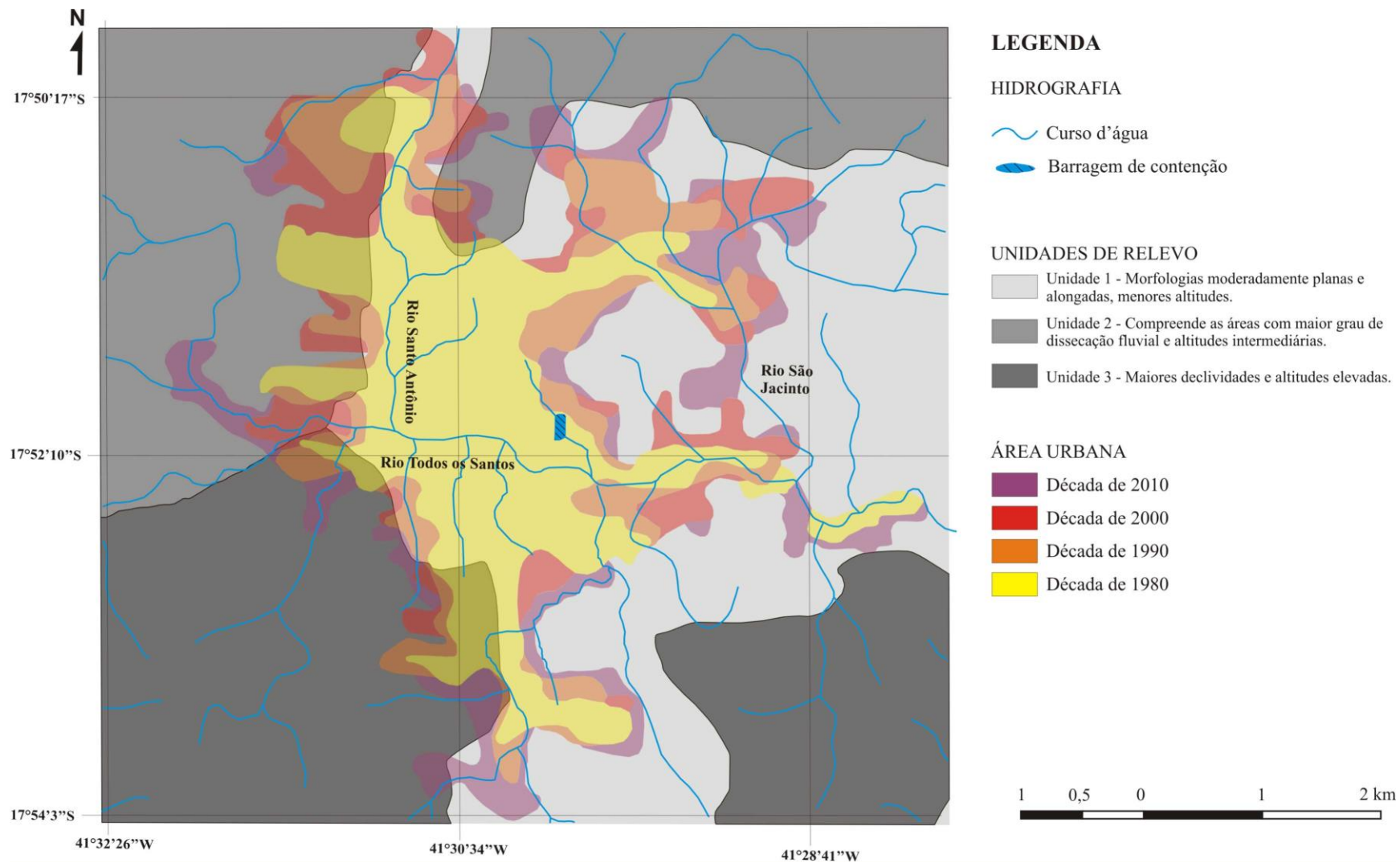


Figura 4.7 – O crescimento urbano de Teófilo Otoni em contexto geomorfológico, produzido a partir de Ferraz *et al.* (2016a) e Ferraz *et al.* (2017).

É neste período (1986 a 1996) que se registrou início de um fenômeno que chama a atenção e deve ser ponderado: o crescimento urbano em áreas de morfologia restritiva. Ao mapeamento da expansão da área urbana, Ferraz *et al.* (2017) acrescentaram as unidades de relevo propostas anteriormente por Ferraz *et al.* (2016a), como é possível observar na Figura 4.8. O que tais trabalhos não discutiram é que, logo à margem direita do Rio Santo Antônio, situa-se o limite entre duas unidades de relevo, a saber: Unidade 1 e Unidade 2. A primeira, na qual se verificam as menores amplitudes topográficas e morfologias moderadamente planas e alongadas é palco da maior parte do tecido urbano de Teófilo Otoni. A segunda, com altitudes mais elevadas e maior grau de dissecação fluvial, praticamente não havia sido ocupada até o intervalo temporal entre 1986 a 1996, se não ao longo de três setores muito bem demarcados (no noroeste da mancha urbana, assinalados com as letras A, B e C na Figura 4.8).

Na década seguinte – 1990 – houve continuidade nas pressões sobre esta unidade de relevo (Unidade 2), não apenas por meio das três áreas pré-existentes (eixos A, B³⁶ e C), mas também por meio das expansões de um destes eixos, assinalado como A1 – Figura 4.8. Além dessas áreas, novas demandas de crescimento, como os eixos F e G (Figura 4.8) configuram este setor noroeste da cidade como área que concentra os maiores vetores de crescimento para além da Unidade 1. Os eixos A, F e G continuaram a se expandir durante a década de 2000 (eixos A2, F2, G2, além do O2, que então surge), ou mesmo na década de 2010 (A3 e G3) – Figura 4.8 –, indicando que o crescimento ocorre no presente.

Nesse sentido, para Maricato *et al.* (2010), quando a ocupação ocorre em encostas instáveis e trechos ribeirinhos, gera situações de risco à ocorrência de desastres naturais, especialmente na medida em que o processo de urbanização avança para as áreas mais periféricas, em função da carência de planejamento de uso e ocupação do solo. Na opinião de Magalhães e Moreira (1998), vertentes que exibem concavidades, a exemplo das reentrâncias e anfiteatros que tão bem caracterizam o relevo em Teófilo Otoni, são áreas em que a geração de colúvios de textura fina se dá pela ocorrência de movimentos de massa em ambientes úmidos, originados por processos como *splash*, rastejamento e deslizamentos, o que caracteriza instabilidade dos mesmos, tanto nas vertentes quanto nos depósitos.

³⁶ Ver Figura 4.8.

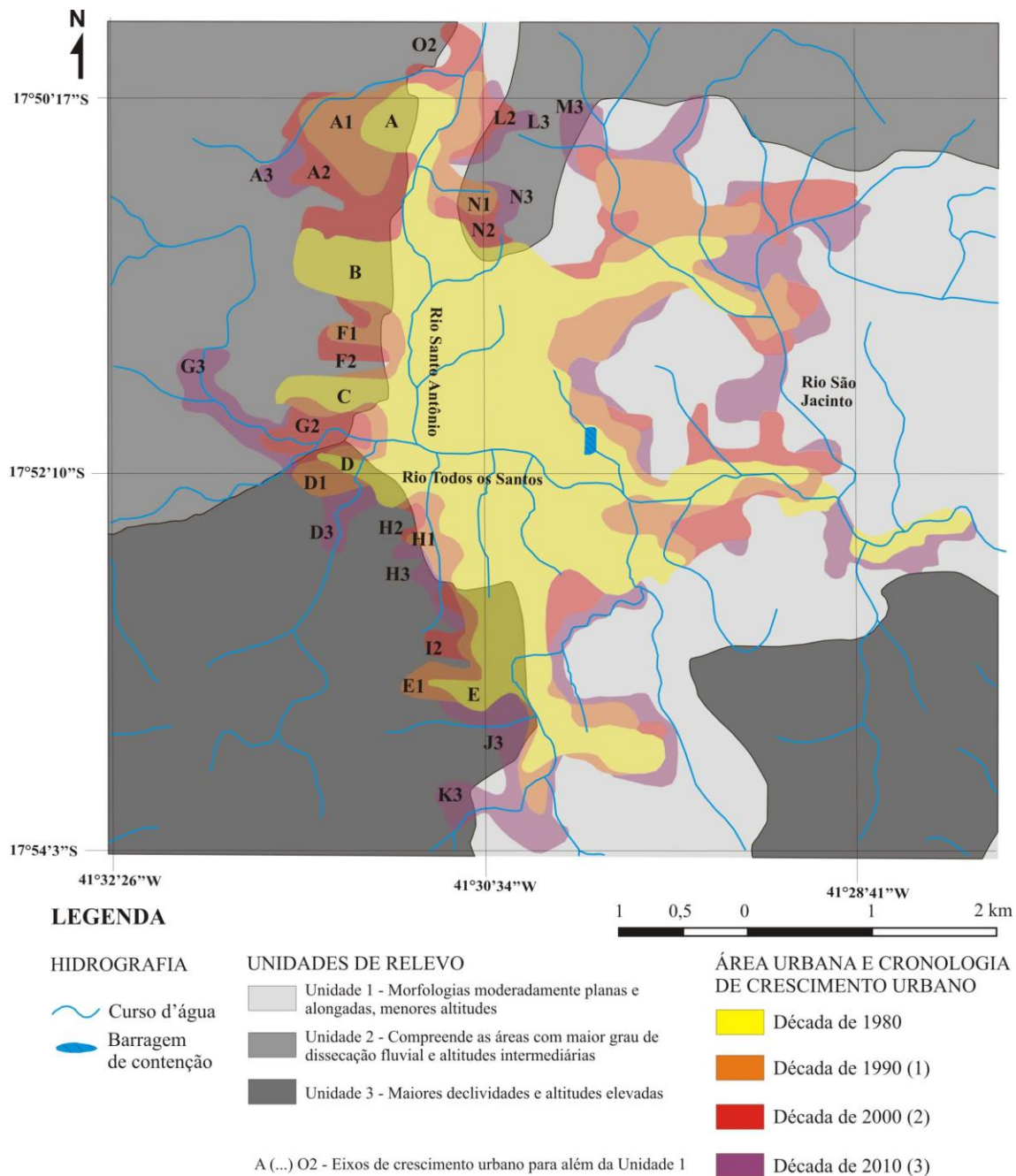


Figura 4.8 – Os eixos de crescimento com relação às unidades de relevo na área investigada. Chave para compreensão dos eixos de crescimento: a letra maiúscula significa o eixo identificado; os números o momento da expansão. Nesse caso, o numeral 1 acrescido à letra corresponde ao mapeamento relativo ao ano de 1996; o 2 à expansão registrada em 2006 e o 3 àquela que se verificou apenas em 2016.

Nesse cenário a ocupação urbana de Teófilo Otoni chama a atenção, uma vez que afeta feições de mais elevadas altitudes e relevo ainda mais dissecado do que a Unidade 1, na qual a maior parte do tecido urbano se instalou. Ao se verificar a Figura 4.9, nota-se que as declividades, associadas às formas das vertentes e a ocorrência de cicatrizes de

escorregamentos, indicam elevada instabilidade destas áreas – e consequente suscetibilidade a ocorrência de movimentos de massa.



Figura 4.9 – Vista de porção do setor nordeste de Teófilo Otoni, com visada para o eixo de crescimento B da Figura 4.8. Notar que a ocupação se processa sobre porção convexa da vertente (em perfil), em direção a feições côncavas (em planta). À direita e na parte central superior, cicatrizes de escorregamentos recentes, atestando a instabilidade do ambiente ocupado.

Próximos a estes vetores de crescimento, durante a década de 1990 surgiu o eixo N1 e durante os anos 2000 foram registradas as áreas L2 e N2. Neste setor devem estar em atual expansão os eixos de crescimento L3, M3 e N3, registrados sobre a Unidade 2. O eixo G2/G3 apresenta a particularidade de se alongar por meio de ocupação de planícies de inundação, ratificando que a expansão urbana recente em Teófilo Otoni repete, no presente, os erros do passado.

A produção do espaço urbano nesses vetores (ao longo do setor noroeste de Teófilo Otoni) pode sugerir que áreas de riscos à ocupação estejam sendo geradas, em função das fragilidades dos ambientes. A esse respeito, Machado e Cunha (2013), analisando a morfodinâmica da Alta Bacia do Rio Itanhaém, em São Paulo, concluíram que a ação das águas e a ação gravitacional apontam para a existência de uma série de feições denudacionais vinculadas à energia do relevo, dentre as quais estão cicatrizes de escorregamentos. Consideraram que a morfometria interfere diretamente na morfodinâmica da área que analisaram, conferindo-lhe uma sensibilidade natural aos processos morfogenéticos.

Cardozo e Herrmann (2011) identificaram, no município de São José, Santa Catarina, relações entre o grau de dissecação e a suscetibilidade a escorregamentos, ainda que para as

autoras existam “inúmeros fatores condicionantes para a ocorrência de movimentos de massa, principalmente em locais que possuem a combinação de altas declividades e encostas retilíneas” (CARDOZO e HERRMANN, 2011, p.4140). Por esse ponto de vista, merecem também ser observados os eixos de crescimento do sudoeste da cidade, os quais avançam por sobre a Unidade 3 – caracterizada pelas maiores amplitudes topográficas e vertente de mais elevada declividade da área investigada. Ao observar a Figura 4.10, é possível notar, na porção central, a Unidade 1, mais rebaixada, na qual predomina a mancha urbana de Teófilo Otoni. Ao fundo, as maiores elevações fazem parte da Unidade 3, bem como a expansão do tecido urbano sobre estas áreas – no destaque em vermelho.



Figura 4.10 – Vista de porção do setor sul de Teófilo Otoni, com destaque para ocupação urbana na Unidade 3.

Ainda que a maior parte destes vetores de crescimento não sejam tão expressivos quanto aqueles localizados a noroeste, ressalta-se que as áreas assinaladas com as letras D e E, que já existiam durante a década de 1980, apresentaram expansão durante os dez anos seguintes (D1 e E1) e, no caso do eixo de crescimento D2, este encontrava-se em expansão nos anos 2000. Já os vetores de crescimento H3, J3 e K3 são recentes, tendo sido mapeados apenas em imagem *Google Earth Pro* do ano de 2016. Tratam-se de áreas cuja urbanização encontra-se em franco crescimento, ainda que não devam ser consideradas aptas para tal.

A inaptidão dessas unidades de relevo (2 e 3) encontra respaldo em trabalho de Oliveira *et al.* (2005), para quem áreas que apresentam relevo acidentado com altas declividades são suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa, por se tratarem de ambientes geoambientalmente inadequados a ocupação urbana, configurando, quando anexadas às cidades, áreas de risco a escorregamentos. Mesmo que Farah (2003) entenda que os limites para a ocupação das encostas, no que diz respeito à declividade máxima aceitável, sejam bastante vagos na legislação brasileira, muitas cidades restringem a ocupação em áreas com declividades superiores a 30% (o que corresponde a aproximadamente 17°).

Ao se observar o mapa das classes de declividades da área investigada, conforme Figura 4.11, é possível atestar que a Unidade 3 apresenta morfologia no mínimo tão inadequada para a ocupação urbana quanto a Unidade 2. O quadrante sudoeste deste mapa, que corresponde à Unidade 3 em quase sua totalidade, apresenta não apenas a maior ocorrência de encostas com declividades iguais ou superiores a 17°, mas também é o setor mais declivoso da área investigada – possui a maior densidade de vertentes mais declivosas do que 22°.

Ainda nesse sentido, Sato *et al.* (2011, p.70) lembram que:

(...) encostas de elevada declividade constituem unidades geoambientais vulneráveis a desequilíbrios do meio ambiente, correspondentes a escorregamentos, condicionados por processos naturais e/ou antrópicos, colocando em risco edificações e moradores. Portanto, a ocupação e quaisquer intervenções nas encostas necessitam de tratamentos específicos desses problemas, integrados com os demais tratamentos referentes aos critérios de ocupação em encostas de alta declividade.

Isso posto, os eixos de crescimento do quadrante sudoeste da área investigada podem ser considerados, em princípio, como de ocupação inadequada, especialmente no que diz respeito aos riscos de deflagração de movimentos gravitacionais de massa. Portanto, estão em desarmonia com o Plano Diretor do município, que preconiza, como já verificado, “o aproveitamento e a utilização da propriedade compatíveis com a segurança e a saúde dos usuários e dos vizinhos” (TEÓFILO OTONI, 2012).

Para Ferraz *et al.* (2017), a ocupação dessas áreas, tanto a noroeste quanto a sudoeste do tecido urbano, ocorre sobre as morfologias menos apropriadas à produção do espaço urbano, sendo provável que tenha ocorrido por negligência ou desconhecimento do Poder Público. Segundo os autores, a perpetuação dessa prática pode significar, no futuro, em fragilização de áreas que já apresentam naturais condicionantes à ocorrência de escorregamentos.

Outra observação cabível é que o mais relevante, em área, dos vetores de expansão urbana é aquele verificado na porção nordeste da cidade (Figura 4.8). Ainda que se trate da unidade de relevo caracterizada por morfologias moderadamente planas e alongadas (Unidade 1), a malha urbana se expandiu para áreas adjacentes às cabeceiras de drenagem, baixo e médio cursos dos canais fluviais da sub-bacia do Rio São Jacinto (Figura 4.8). Se é verdadeira a interpretação que a cidade, em primeiro momento, se expandiu ao longo das margens dos canais fluviais, é igualmente fato que essa realidade ainda ocorre, em flagrante descompasso com quaisquer metas razoáveis de planejamento urbano e ordenamento territorial.

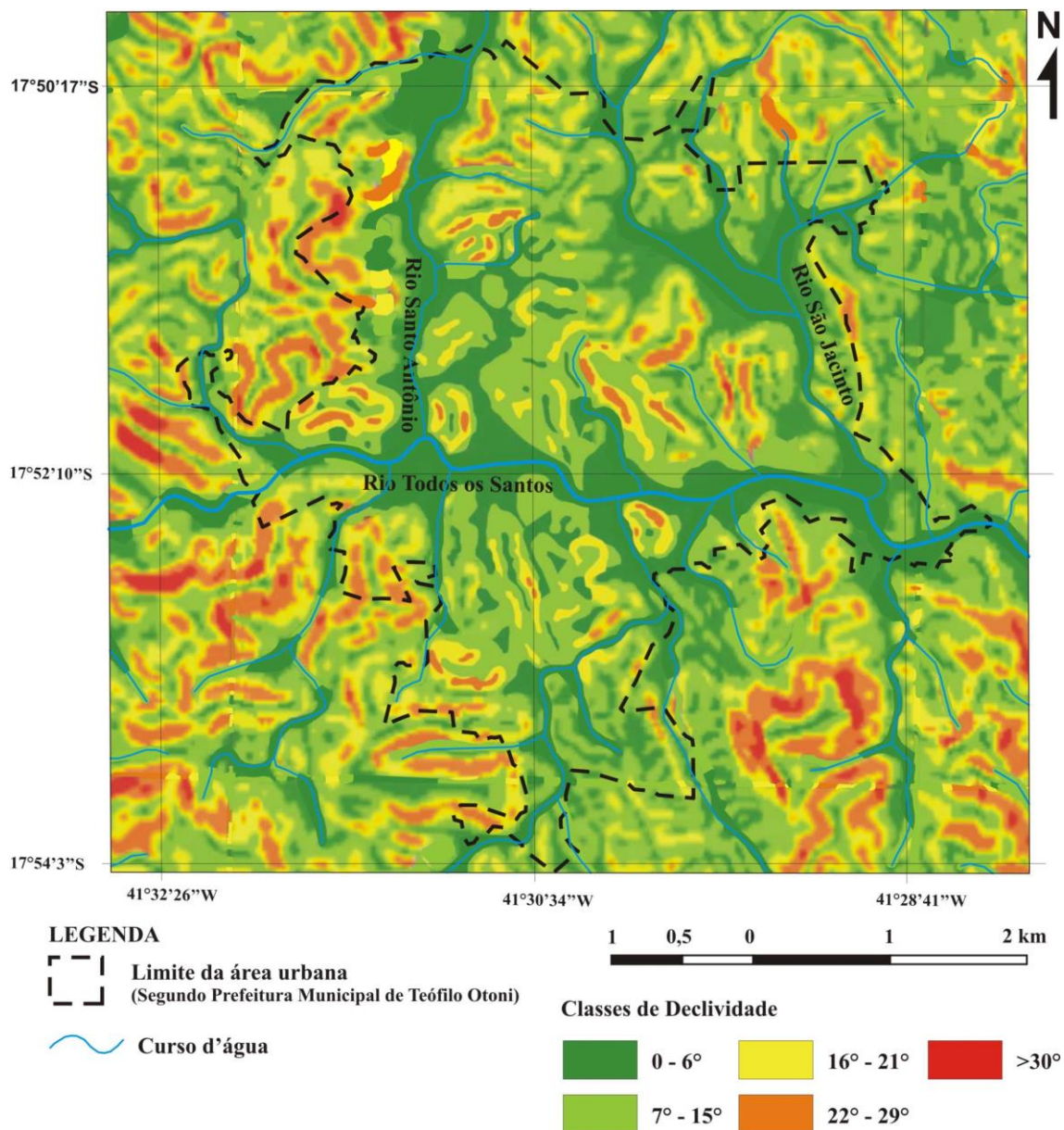


Figura 4.11 – Mapa de classes de declividade da área investigada.

Mesmo que se tratem, em alguns casos, de canais de primeira e segunda ordem, os quais podem não se relacionar a inundações em suas várzeas, a impermeabilização dessas áreas gera desequilíbrios hidrológicos que podem reduzir a recarga das reservas subterrâneas de água e ampliar os fluxos superficiais, causando transbordamento do Rio Todos os Santos – principal curso d’água que drena a área investigada – na extremidade oriental da área urbana (Figura 4.8).

Para Dallapicola (2015, p.32), a “supressão das matas ciliares e das vegetações das encostas, para fins de ocupação urbana, interfere diretamente no ciclo hidrológico”, ações que têm como consequência a “diminuição da absorção de água pelo subsolo e pela

evapotranspiração, favorecendo o escoamento superficial, que intensifica a velocidade de drenagem das águas”. A autora acrescenta que a “compactação e o nivelamento do solo, associados à impermeabilização por concreto, asfalto e outros materiais, alteram todo o sistema de drenagem natural e contribuem para a erosão fluvial” (DALLAPICOLA, 2015, p.32). Afirma ainda, a autora, que o Poder Público, negligenciando a função de investir em parcelamento sustentável do solo e resguardar alocação de espaços para drenagem, atua como facilitador ou mesmo promotor da ocorrência de inundações em áreas urbanas, “na medida em que decide por obras estruturais como a canalização e a microdrenagem, que transferem os impactos das inundações a jusante” (DALLAPICOLA, 2015, p.33).

A esse respeito, Ferraz *et al.* (2017, p.19) argumentam:

O crescimento urbano de Teófilo Otoni apresenta desequilíbrio no aproveitamento e respeito às potencialidades e limitações do meio natural. Isso não apenas ocorreu em seu passado histórico, mas se repete no presente, configurando décadas de desrespeito à legislação vigente, ao bom senso e dando prova de carência de planejamento e gestão urbana. Resulta também da urbanização desordenada a degradação dos recursos hídricos presentes na sede do município, que registra enchentes e inundações durante a estação chuvosa.

A expansão urbana, de certa maneira herdeira de um passado em que não eram consideradas as consequências de um modelo de ocupação não planejado, pratica, no presente, os mesmos equívocos, desta vez com agravantes. Embora haja uma legislação vigente, que prevê “a utilização adequada dos recursos naturais disponíveis, bem como a proteção, a preservação e a recuperação do meio ambiente”³⁷, os eixos de crescimento atuais ainda se caracterizam por se projetar para as feições mais declivosas ou para as margens dos canais fluviais da área investigada.

³⁷ Artigo 1º do Plano Diretor de Teófilo Otoni, § 2º.

CAPÍTULO 5

AS INUNDAÇÕES E ALAGAMENTOS NA ÁREA URBANA DE TEÓFILO OTONI

Os recursos hídricos ocupam, frequentemente, foco central em discussões de natureza ambiental, política, social e acadêmica, sendo marcantes preocupações com abastecimento público, poluição e distribuição e qualidade das águas. Além dessas questões, o intenso processo de urbanização tem, segundo Cristo (2002, p.01), resultado em fatores negativos ao ambiente, a “exemplo da ocupação em margens fluviais”. Segundo o autor, essa prática acentua situações de riscos por ocasião de eventos naturais, como os episódios pluviais intensos, que “são frequentemente registrados pelos meios de comunicação pelas conseqüentes ocorrências de enchentes, muitas das quais são provenientes da ocupação humana em áreas susceptíveis a riscos naturais” (CRISTO, 2002, p.01).

Nesse sentido, este capítulo versa sobre alagamentos e inundações, bem como o risco à ocorrência desses fenômenos na cidade de Teófilo Otoni, visando identificar o papel do clima, da ocupação urbana e da geomorfologia para o desencadeamento dos eventos. Junto a esses, a participação do Poder Público Municipal é considerada, no intuito de se verificar a atuação dos gestores públicos em face à deflagração dos fenômenos.

5.1 – O regime pluviométrico da área investigada

Alagamentos e inundações resultam de uma complexa e intrincada relação de condicionantes que podem desencadear ou agravar a ocorrência e a magnitude dos eventos. Na literatura que trata do tema é comum serem avaliados clima, rede de drenagem, relevo, uso e ocupação dos solos ou características geomorfológicas e geológicas regionais e locais.

Essa assembleia de elementos, comumente atribuída como responsável por inundações e alagamentos, é reconhecida por Pedrosa e Pereira (2006, p.36), ao distinguirem fatores permanentes e desencadeantes, a saber:

Entre os factores permanentes salientam-se as características geográficas (topografia, morfologia, declive, litologia, tipo de coberto vegetal, usos do solo, taxa de impermeabilização, processos e condicionantes da drenagem natural, características da rede hidrográfica e modificações antrópicas) e as características da Rede de Drenagem de Águas Pluviais (manutenção da rede – limpeza e conservação, dimensionamento dos boeiros e condutas, existência de estrangulamentos na rede). No que respeita aos factores desencadeantes assumem preponderância as condições meteorológicas (quantidade, duração, intensidade da precipitação, concentração temporal, distribuição espacial na bacia hidrográfica), eventuais intervenções antrópicas, bem como, possíveis falhas técnicas (ruptura de condutas).

Os autores entendem as causas meteorológicas como fatores desencadeantes das inundações e alagamentos, os quais merecem especial destaque. A esse respeito, em considerações convergentes, Ramos (2013, p.12) esclarece:

Dentro das causas meteorológicas, e à exceção dos galgamentos oceânicos, a pluviosidade é a principal causa das cheias, da subida das águas subterrâneas e das inundações urbanas. As chuvas podem ser de dois tipos: ou são contínuas e prolongadas, podendo até não atingir grande intensidade (originam neste caso cheias lentas e a subida da toalha freática, com inundação de áreas deprimidas), ou são concentradas no tempo e no espaço, mas de grande intensidade (dando origem às cheias rápidas e às inundações urbanas).

Assim sendo, o esforço para compreensão dos mecanismos de ocorrência de inundações e alagamentos em Teófilo Otoni perpassa o entendimento dos padrões climáticos da área, especialmente no que diz respeito à distribuição pluviométrica e a ocorrência de eventos extremos. Em princípio, a distribuição das chuvas na área é marcada por (i) irregularidade ao longo da série histórica avaliada (entre os anos de 1961 a 2015), (ii) concentração dos volumes de precipitação durante a estação chuvosa, e (iii) aparente aumento da ocorrência de eventos de elevada precipitação nos últimos anos da série.

Com relação à irregularidade das chuvas, ao se analisar a Figura 5.1, é possível identificar os anos em que a precipitação acumulada anual superou o parâmetro de referência – média histórica de 959,1mm, conforme Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990 (INMET, 1992). Este fato ocorreu em 28 dos 48 anos avaliados³⁸.

A esse respeito, Ferraz *et al.* (2016b) apresentam considerações pertinentes: para os autores são representativos os totais pluviométricos dos anos de 1964 (1325mm); 1983

³⁸ A série histórica disponível não possui registros de todos os anos do período, conforme detalhado no Capítulo 3. Nesse capítulo também pode ser compreendida a forma de aquisição dos dados analisados.

(1287mm); 1992 (1402mm); 2002 (1266) e 2005 (1669mm), esse último o maior valor registrado no período. Eventos de precipitações superiores à média histórica devem ser avaliados com cautela ao se tratar da investigação de inundações e alagamentos, visto que para Coelho Netto (2011), é consensual que para áreas adjacentes aos cursos d'água afluem os fluxos resultantes da precipitação sobre as encostas. Isso ocorre de modo mais sistemático naquelas encostas que contêm número considerável de concavidades que, do ponto de vista hidrológico, são áreas de convergência dos fluxos superficiais e subsuperficiais, como é o caso da área investigada.

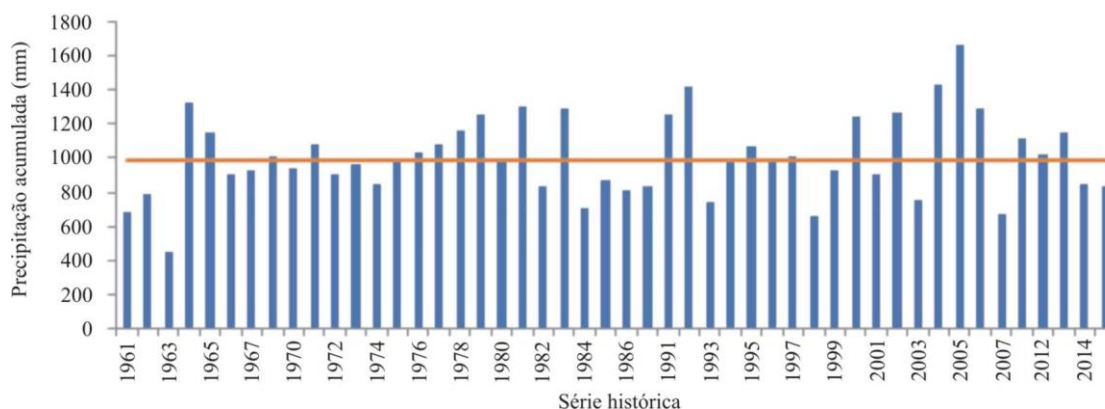


Figura 5.1 – Precipitação acumulada por ano entre 1961 e 2015, conforme dados da Estação Meteorológica Teófilo Otoni (ANA, 2015). A linha laranja representa a média da precipitação anual, segundo Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990.

Em sistemas urbanos, cabe ressaltar que um dos principais aspectos a serem considerados é a intensidade da precipitação, visto que em sistemas urbanos o tempo de concentração é reduzido. Nesse aspecto, Ramos (2009) aponta que chuvas intensas, associadas ou não a obstáculos ao escoamento fluvial, são as principais causas de inundações em áreas urbanas, enquanto Tucci (2005, p.45) acrescenta que a urbanização “acelera o escoamento através de condutos e canais” e que “a quantidade de água que chega ao mesmo tempo no sistema de drenagem aumenta, produzindo inundações mais frequentes”. Nesse contexto, é importante ressaltar que em Teófilo Otoni, 80% (oitenta por cento) do volume pluviométrico anual ocorre durante a estação chuvosa, compreendida entre outubro a março (FERRAZ *et al.*, 2016b; ALMEIDA *et al.*, 2018), conforme Figura 5.2, muitas vezes caracterizando eventos de pluviosidade extrema – chuvas intensas.

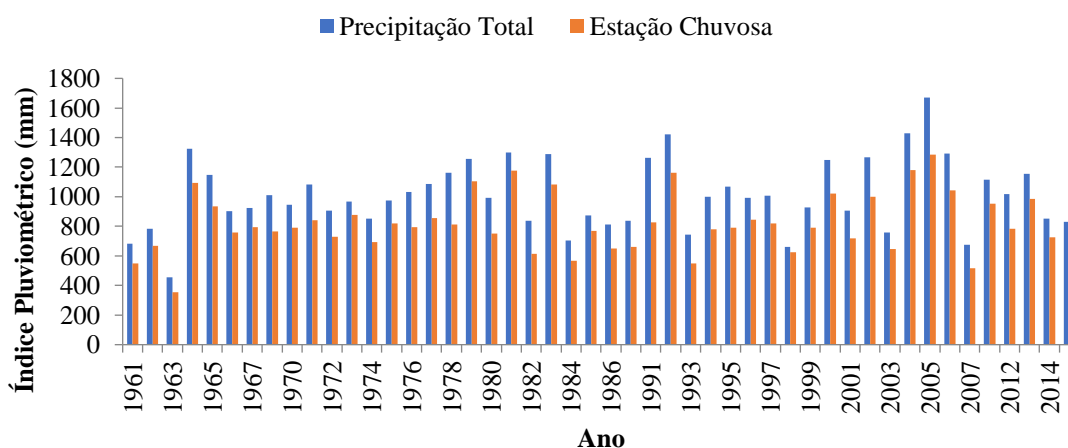


Figura 5.2 - Precipitação acumulada por ano entre 1961 e 2015 e valor da estação chuvosa, conforme dados da Estação Meteorológica Teófilo Otoni (ANA, 2015).

Além disso, há de se observar os anos em que apenas o volume pluviométrico registrado entre outubro a março supera a média anual de chuvas. Em 1964, durante a estação chuvosa, registrou-se 1092mm de precipitação pluviométrica e, em 1979, o acumulado deste período chegou a 1104mm. As precipitações durante esta estação também excederam a média anual em 1981 (1175mm) e 1983 (1083mm). Esse fenômeno se repetiu em 1992 (1162mm), 2000 (1023mm), 2002 (1000mm), 2004 (1179mm), 2005 (1285mm), 2006 (1043mm) e 2013 (987mm), de tal modo que em 11 anos a precipitação registrada apenas durante a estação chuvosa superou a média anual para a série histórica.

Em síntese, estes dados indicam a ocorrência, repetidamente na série histórica avaliada, de (i) anos nos quais a precipitação acumulada superou a média e, principalmente, (ii) ocasiões em que apenas o volume registrado durante a estação chuvosa foi superior ao valor de referência (média). Isso posto, uma análise mais refinada revela outro fato a ser ponderado: destes 11 eventos nos quais a precipitação da estação chuvosa supera a média histórica, 6 ocorreram a partir dos anos 2000. Tal comportamento talvez seja indicativo de que estes episódios estejam se tornando mais frequentes, o que pode explicar o aparente aumento no volume pluviométrico total verificável nas últimas décadas (FERRAZ *et al.*, 2016b).

Essa interpretação se reveste de maior relevância ao se considerar que Rebelo (1997, p.30) relaciona inundações rápidas (*flash floods*) ao “risco climático”, avaliando que estas, quase sempre, se ligam à ocorrência de chuvas intensas. O autor ainda acrescenta que:

Em todas estas situações há um ponto comum - a ocorrência de chuvas intensas, isto é, de muita precipitação em pouco tempo (...). E as chuvas intensas são nitidamente um risco climático, maior ou menor consoante o tipo

de clima, risco que se relaciona com a frequência da passagem de importantes depressões ou perturbações frontais (...).

Com efeito, nos anos de 1964, 1981, 2002, 2004, 2006 e 2013 – todos eles já referenciados como momentos em que a estação chuvosa superou a média histórica –, ocorreram precipitações superiores a 100mm em intervalo igual ou inferior a 24 horas (Tabela 5.1). Fatos semelhantes foram também registrados nos anos de 1975, 2012 e 2016³⁹ e há registros de inundações ou alagamentos nos anos de 2002, 2012 e 2016 (Tabela 5.1).

Tabela 5.1 – Eventos pluviométricos extremos e variação da vazão do Rio Todos os Santos⁴⁰ (ANA, 2015).

EVENTO PLUVIOMÉTRICO EXTREMO		DINÂMICA FLUVIAL			
DATA	PRECIPITAÇÃO (mm)	DEFLÚVIO INICIAL (m ³ /s)	DEFLÚVIO MÁXIMO		AUMENTO DA VAZÃO (%)
			VAZÃO (m ³ /s)	DATA	
17/03/1964	108,1	25,9	63,8	19/03/1964	146,33
02/11/1975	150,3	25,5	68,5	05/11/1975	168,63
22/03/1981	102,7	60,6	69,7	23/03/1981	15,02
04/02/2002 ⁽¹⁾	246,4	118,3	206,3	05/02/2002	74,39
27/10/2004	120,1	10,0	29,4	31/10/2004	194,0
22/12/2004	120,7	66,1	115,8	24/12/2004	74,1
09/12/2006	102,1	58,0	138,0	11/12/2006	137,93
11/12/2006	80,0	138,0	223,4	13/12/2006	61,88
29/11/2012 ⁽²⁾	116,4	28,9	125,6	01/12/2012	334,6
07/12/2013 a 09/12/2013 ⁽³⁾	156,2 (somatório)	10,2 (07/12/2013)	52,5	16/12/2013	414,71
17/12/2013 a 24/12/2013 ⁽³⁾	184,4 (somatório)	51,08 (17/12/2013)	112,4	20/12/2013	116,99
			87,0	25/12/2013	67,95
21/02/2013 ⁽⁴⁾	137,6	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados

(1) – Inundação registrada pelo Jornal Folha de São Paulo.

(2) – Inundação registrada pelo Jornal Estado de Minas, Corpo de Bombeiros e Polícia Militar.

(3) – Inundações registradas pelo Corpo de Bombeiros e Polícia Militar, durante o período.

(4) – Inundação registrada pelo Jornal G1.

³⁹ Embora o ano de 2016 não faça parte da série histórica avaliada nesse trabalho, há registro fidedigno de ocorrência de inundações e alagamentos no período, razão pela qual, diante da carência de informações a esse respeito para a área investigada, foi considerado como objeto de análise.

⁴⁰ Fontes das inundações: <http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u45312.shtml>; (BARAGON, 2012).

https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2012/11/29/interna_gerais.333248/prefeitura-de-teofilo-otoni-decreta-estado-de-emergencia-apos-enchente.shtml; (SILVA, 2012).

<http://g1.globo.com/mg/vales-mg/noticia/2016/01/em-teofilo-otoni-cerca-de-30-casas-foram-destruidas-pelas-chuvas.html>

Para Rebelo (1997) inundações rápidas têm fortes relações com fatores climáticos e se ligam à ocorrência de chuvas intensas. Já Assis *et al.* (2013, p.42) consideram que eventos de precipitação intensa configuram grandes volumes pluviométricos em curto intervalo de tempo, considerando-os como episódios nos quais chuvas extremas são caracterizadas “pela duração e distribuição têmporo-espacial crítica para uma determinada área, ou bacia hidrográfica”. Como exemplo, os autores identificam volume acumulado de chuvas iguais ou superiores a 100mm em 24 horas, “que contribuíram para a ocorrência de alagamentos, inundações e deslizamentos em diversos pontos da cidade” em Belo Horizonte, Minas Gerais (ASSIS, *et al.*, 2013, p.42).

Embora exista carência de informações a respeito de inundações e alagamentos na cidade, há que se ressaltar os eventos ocorridos em 2002, retratados pela imprensa estadual e nacional, além daqueles de 2012, 2013 e 2016, anos marcados por inundações e alagamentos registrados pela imprensa, Corpo de Bombeiros e Polícia Militar. Sobre estes dados, os eventos de 2013 se relacionam a pluviosidade acumulada em período superior a 24 horas, mas excedendo 100mm de chuvas, momentos em que foram registrados alagamentos em Teófilo Otoni (Figura 5.3 – A). Já nos casos de 2002, 2012 e 2016 o volume pluviométrico excedeu 100mm em um período de 24 horas, ocasionando inundações (Figura 5.3 – B) e substancial elevação da vazão do Rio Todos os Santos (Tabela 5.1).



Figura 5.3 – Alagamento na zona oeste de Teófilo Otoni em 2012 (A)⁴¹ e inundação no centro da cidade em 2013 (B)⁴².

Ramos (2013) sustenta que o estabelecimento da probabilidade de ocorrência de inundações, ou mesmo a sua frequência, definida como “perigosidade do fenômeno”⁴³, representa a probabilidade de ocorrência de um processo com potencial destruidor numa dada

⁴¹ https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2012/11/29/interna_gerais.333248/prefeitura-de-teofilo-otoni-decreta-estado-de-emergencia-apos-enchente.shtml

⁴² <http://aconteceunovale.com.br/portal/?p=14960> (PASSOS, 2016)

⁴³ Do texto original.

área e num determinado período. A autora reconhece, como principal entrave na definição da “perigosidade” que, “na maior parte das vezes, não existem dados hidrométricos que permitam uma análise estatística e a definição dos períodos de retorno das cheias e inundações” (RAMOS, 2013, p.14).

Sustenta, ainda:

A análise das notícias de eventos extremos com consequências danosas nos órgãos da imprensa escrita, ou dos registos (quando organizados) dos bombeiros sapadores pode ajudar à detecção dos locais mais frequentemente inundados e das respetivas causas e consequências. Podem assim ser cartografados os locais e as áreas afetados pelas inundações com diferentes frequências de ocorrência (RAMOS 2013, p.14).

Na opinião de Pedrosa e Pereira (2006), para analisar a correlação entre os quantitativos de precipitação e a ocorrência de inundações urbanas deve-se conhecer o volume de precipitação acumulada nos dias que antecederam a ocorrência do fenómeno, a intensidade das chuvas que ocorrem nas horas imediatamente anteriores, assim como a importância das chuvas localizadas (valores excepcionais de precipitação que se verificam em áreas espacialmente restritas e curtos períodos). Porém Rebelo (1997, p.31) acrescenta, ao estabelecer considerações entre a correlação do volume pluviométrico e a ocorrência de inundações ou alagamentos:

E aqui surge o problema de não ser fácil conhecer aquela variável uma vez que há poucas estações meteorológicas com instrumentos de registo da intensidade das precipitações e, quando existem, os dados conhecidos são poucos e recentes. Além disso, em iguais condições de tempo, não chove o mesmo em todas as áreas da cidade e, por maioria de razão, nas áreas periféricas. Muitas vezes, é das áreas periféricas, dos arredores das cidades, que surgem verdadeiras enxurradas perfeitamente imprevistas.

Diante da relativa carência de informações e registos relacionados às inundações e alagamentos na área investigada, é possível estabelecer as seguintes interpretações preliminares:

1. Não é absolutamente seguro, mas é possível identificar que volumes pluviométricos iguais ou superiores a 100mm em período máximo de 24 horas configurem gatilhos de inundações, visto que os registos do fenómeno na área investigada tenham ocorrido, em três de quatro casos, após precipitações com estas características na cidade;
2. Tais eventos pluviométricos se relacionam também a sensíveis variações na vazão do Rio Todos os Santos, com algumas horas ou dias de diferença entre as chuvas e a elevação da vazão, já que a estação fluviométrica Francisco Sá se localiza há algumas dezenas de quilômetros a jusante da área investigada;

3. As séries históricas de precipitação e vazão avaliadas permitem estabelecer que, na maior parte dos casos, os anos que se caracterizaram por precipitação acumulada durante a estação chuvosa superior à média histórica anual também apresentaram eventos de pluviosidade igual ou superior a 100mm em 24 horas, mesmo que não seja possível atribuir a todas essas ocasiões a ocorrência de inundações;
4. A série histórica de chuvas da área investigada aponta para um aumento na frequência dos eventos pluviométricos extremos nos últimos 20 anos na área investigada.

Ainda que não se objetive com esse tópico determinar o limiar pluviométrico a partir do qual exista possibilidade de inundações na área foco do trabalho, é possível, com as ressalvas estabelecidas, compreender que os eventos pluviométricos extremos (100mm em 24 horas) caracterizam evento com potencial para causar danos. A possibilidade que este perigo esteja se tornando mais frequente aumenta a necessidade de pesquisa e monitoramento sistemático do comportamento das chuvas, vazão dos principais cursos d'água e inundações na área investigada. Somente com tais medidas poderão ser traçadas as bases para proposição de políticas públicas e tomadas de decisões eficazes para a prevenção de inundações na área investigada.

5.2 – A dinâmica fluvial e as inundações na área investigada: urbanização e ciclo hidrológico

Os sistemas fluviais em áreas urbanas apresentam, em diversos graus, alterações na qualidade e quantidade de água, como resultado do modelo vigente de produção do espaço nas cidades. Para Finkler (2012), os impactos do desenvolvimento urbano sobre os recursos hídricos se dão nos aspectos qualitativo (pela alteração da qualidade da água), e quantitativos (com mudanças nos padrões de fluxo e quantidade da água).

Nesse cenário, na medida que as manchas urbanas avançam no espaço, em especial quando de modo desordenado e carente de planejamento, ocorre crescente impermeabilização do solo por meio de pavimentação das ruas e lotes, construção de moradias e outras obras de infraestrutura (CEMIN *et al.*, 2009, p.48). Como consequência, “o aumento da impermeabilização do solo com pavimentos, calçadas e telhados, resulta em escoamento mais

rápido da água precipitada para as redes de drenagem urbana, as quais, por sua vez, concentram estes volumes nos rios principais (FINKLER, 2012, p.43).

Isso significa que a impermeabilização dos solos, nas cidades, tende a interferir nas relações entre a precipitação efetiva e os fluxos basais, resultando em aumento do escoamento superficial. Silveira (2000), ao avaliar a interferência da urbanização em Porto Alegre sobre os recursos hídricos, concluiu que é possível analisar o impacto do crescimento urbano sobre o escoamento superficial, o qual aumenta em relação ao escoamento de base, reduzido em termos relativos com o aumento da urbanização.

Nesse contexto, o questionamento que se propõe pode ser assim formulado: é possível identificar alterações no regime do Rio Todos os Santos correlacionável ao crescimento da área impermeabilizada?

O aumento da área impermeabilizada em Teófilo Otoni, conforme já ressaltado neste trabalho, foi avaliado por Ferraz *et al.* (2017), que identificaram os eixos de crescimento urbano de Teófilo Otoni entre os anos de 1986 a 2016, quantificando aumento da área impermeabilizada da ordem de 133% neste período, conforme Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Crescimento Urbano de Teófilo Otoni entre os anos de 1986 a 2016 (FERRAZ, *et al.*, 2017).

ANO	ÁREA IMPERMEABILIZADA (m ²)
1986	8.415.000
1996	8.735.400
2006	10.399.500
2016	19.620.000

A verificação do balanço hídrico simplificado para a área investigada, proposto para o período 1961 a 2008 (Figura 5.4), possibilita interpretar que, ao longo do período, a vazão do Rio Todos os Santos se revela extremamente sensível às variações dos volumes pluviométricos que tão bem caracterizam a distribuição de chuvas em Teófilo Otoni. Fica ainda claro, em uma análise pormenorizada, que há forte relação entre as alterações do deflúvio total e as oscilações dos fluxos basais: ambos os valores se elevam sobremaneira durante o período chuvoso, ao passo que decrescem durante a estação seca – época em que a vazão do rio é, quase que totalmente, mantida pelo escoamento basal (Figura 5.5).

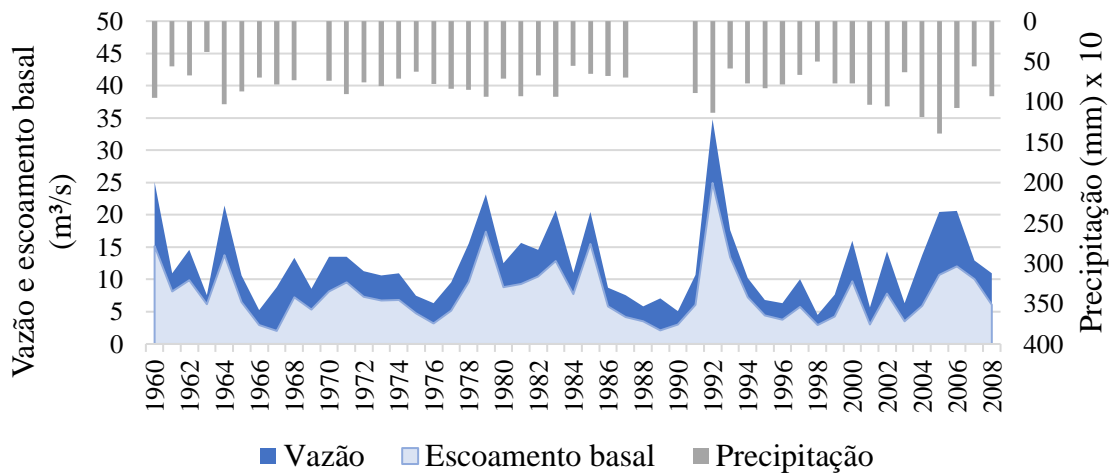


Figura 5.4 – Balanço hídrico simplificado da área investigada, entre os anos de 1961 a 2008. Fonte dos dados: ANA (2015).

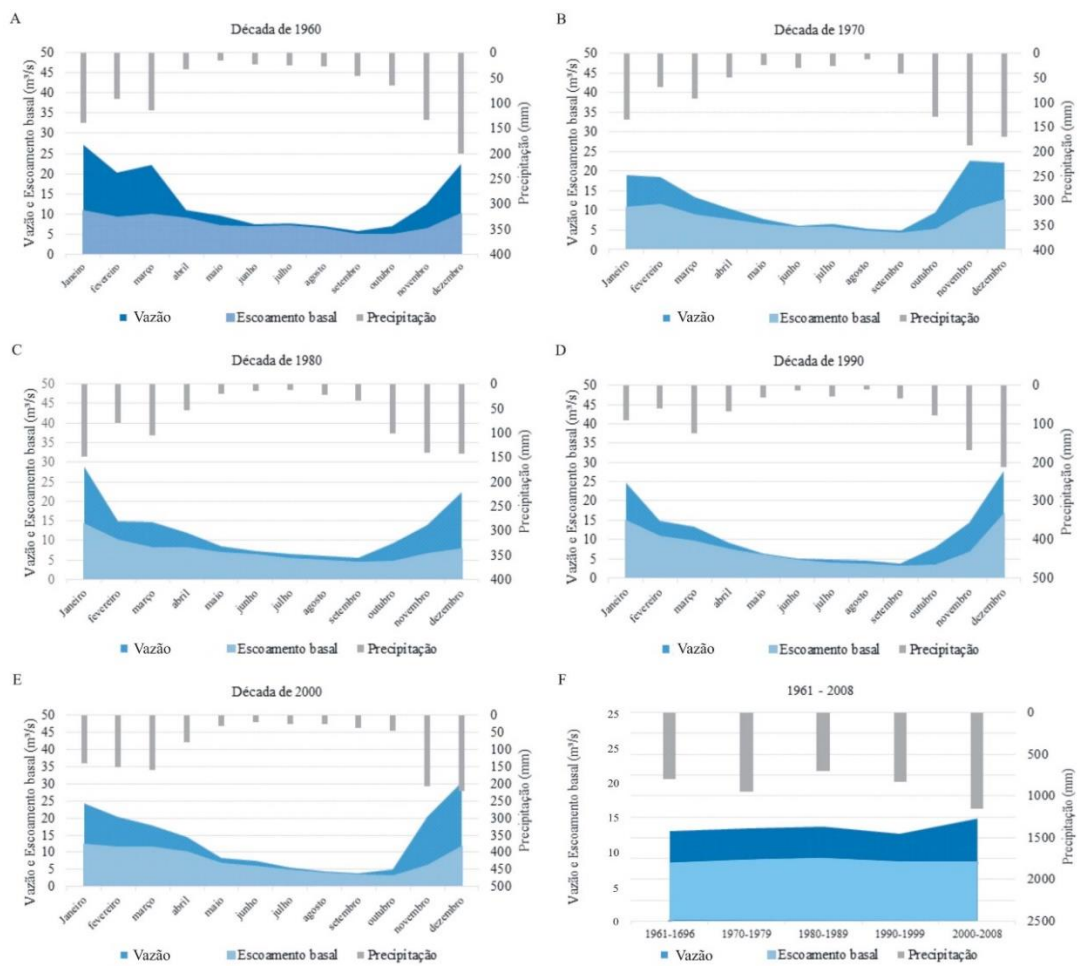


Figura 5.5 – Balanços hídricos simplificados por década da área investigada (ANA, 2015).

Observação: precipitação (mm) x 10, para A a E.

Nessa perspectiva, a análise dos balanços hídricos simplificados – por década – para a área investigada (Figura 5.5) permite identificar que, durante as décadas de 1960 a 1990 (Figura 5.5 – A a D), em princípio, o comportamento relativo entre o deflúvio total e o escoamento de base não demonstra discrepâncias relevantes, ainda que as curvas exibam formas distintas – possivelmente refletindo a variabilidade pluviométrica da região naqueles períodos. Entretanto, a partir do ano 2000 notam-se duas possíveis alterações no ciclo hidrológico da área investigada, a saber: (ii) aumento do deflúvio total (Figuras 5.5 – E e F) e diminuição do escoamento de base (Figura 5.5 – F), além de ampliação da curva de vazão, em relação à curva do fluxo de base, durante a estação chuvosa (Figura 5.5 – E).

A razão entre a vazão do Rio Todos os Santos e o escoamento de base na área investigada, portanto, apresenta variações no período em análise (Tabela 5.3). Contudo, em toda a série histórica, a vazão média registrada entre os anos 2000 e 2008 é a mais elevada (17,9m³/s), havendo menor participação do fluxo de base em todo o período (razão entre escoamento basal inferido e vazão média igual a 0,56).

Tabela 5.3 – Razão entre a vazão do Rio Todos os Santos e o escoamento de base (ANA, 2015).

PERÍODO	VAZÃO MÉDIA (m ³ /s)	ESCOAMENTO DE BASE – MÉDIA (m ³ /s)	RAZÃO
1961-1969	16,0	9,2	0,57
1970-1979	14,6	6,4	0,64
1980-1989	14,8	8,8	0,59
1990-1999	13,5	9,1	0,67
2000-2008	17,9	10,1	0,56

A esse respeito, Tucci (2003) e Cemin *et al.* (2009) afirmam que o processo de impermeabilização altera o balanço hídrico das áreas urbanizadas, pois reduz a infiltração das águas provenientes das chuvas. Conseqüentemente, para os autores, o volume das águas precipitadas pluvialmente que não infiltra nos solos permanece sobre a superfície, aumentando o escoamento superficial, gerando alterações significativas no regime de vazões das pequenas bacias localizadas na área urbana. Afirmam ainda que a construção de condutos para o esgotamento das águas pluviais, os quais também propiciam maiores velocidades de escoamento, reduzem o tempo de deslocamento da água até os canais fluviais. De fato, a variação do comportamento da vazão do Rio Todos os Santos, bem como a participação do escoamento basal em sua composição, apresenta significativa variação ao longo da série histórica (Tabela 5.4), notadamente a partir da intensificação da urbanização, nas últimas duas décadas.

Tabela 5.4 – Médias mensais (por década) da vazão do Rio Todos os Santos e escoamento basal na área investigada (ANA, 2015).

PERÍODO	MÊS	VAZÃO (m³/s)	ESCOAMENTO BASAL (m³/s)	PERÍODO	MÊS	VAZÃO (m³/s)	ESCOAMENTO BASAL (m³/s)
1961-1969	Janeiro	27,2	10,8	1970-1979	Janeiro	19,0	10,7
	Fevereiro	20,3	9,2		Fevereiro	18,5	11,5
	Março	22,1	9,8		Março	13,3	8,8
	Abril	11,1	8,9		Abril	10,5	7,7
	Maiο	9,6	7,0		Maiο	7,8	6,5
	Junho	7,4	6,7		Junho	6,0	5,6
	Julho	7,7	7,0		Julho	6,4	5,6
	Agosto	7,0	6,3		Agosto	5,3	4,8
	Setembro	5,6	5,0		Setembro	4,7	4,2
	Outubro	7,0	5,0		Outubro	9,5	5,1
	novembro	12,4	6,4		novembro	22,5	10,4
	Dezembro	22,3	10,2		dezembro	22,1	12,8
1980-1989	Janeiro	28,6	14,2	1990-1999	Janeiro	24,5	15,0
	Fevereiro	14,8	10,1		Fevereiro	14,8	10,9
	Março	14,7	8,2		Março	13,2	9,4
	Abril	11,9	8,2		Abril	9,0	7,5
	Maiο	8,4	6,9		Maiο	6,3	6,0
	Junho	7,3	6,3		Junho	5,0	4,7
	Julho	6,3	5,4		Julho	4,6	3,9
	Agosto	5,8	4,8		Agosto	4,5	3,5
	Setembro	5,4	4,3		Setembro	3,7	3,0
	Outubro	9,1	4,7		Outubro	7,7	3,2
	novembro	13,8	6,6		novembro	14,2	6,7
	Dezembro	22,1	7,9		dezembro	27,7	16,8
2000-2008	Janeiro	24,3	12,3		Julho	5,4	4,6
	Fevereiro	20,2	11,6		Agosto	4,5	3,9
	Março	17,8	11,6		setembro	3,8	3,5
	Abril	14,5	10,1		outubro	5,0	3,0
	Maiο	8,2	6,8		novembro	20,3	6,2
	Junho	7,3	5,8		dezembro	30,2	11,8

Uma vez que estão registrados valores mais elevados de vazão e diminuição do fluxo de base, é justo interpretar que a elevação do escoamento superficial contribua para o aumento do deflúvio total do Rio Todos os Santos – especialmente quando o crescimento do tecido urbano suprime a vegetação nativa e, portanto, reduz a evapotranspiração (ANDRADE FILHO *et al.*, 2000). Essa interpretação encontra respaldo na avaliação de Ferraz *et al.* (2017), que

verificaram aceleração do crescimento da área impermeabilizada de Teófilo Otoni exatamente entre os anos de 1996 e 2006⁴⁴. Soma-se a isso o fato de que, somente na última década, a vazão do Rio Todos os Santos assume valores muito mais elevados do que aqueles registrados nas décadas anteriores. Isso indica que, possivelmente a partir desse período (iniciado na década de 2000), o adensamento urbano e os consequentes desbalanços hidrológicos decorrentes do crescimento da cidade culminaram em desequilíbrios mais severos – sobretudo no que diz respeito ao aumento dos montantes do escoamento superficial em detrimento da infiltração e circulação basal.

A esse respeito, Rebelo (1997, p.31) acrescenta:

E há, principalmente, a impermeabilização dos espaços de circulação, em regra com asfalto, e de grande parte dos espaços construídos, quase sempre com cimento. Todas estas impermeabilizações, a que frequentemente se acrescenta o total ou parcial entulhamento das sarjetas com folhas ou pedras arrastadas pela água da chuva, vêm agravar uma eventual inundação rápida provocada pela falta de resposta dos meios artificiais de escoamento, particularmente se se trata de uma canalização subterrânea. A velocidade de propagação da "cheia" na cidade é, portanto, aumentada pelo facto de haver poucas perdas por infiltração.

No mesmo sentido, Pedrosa e Pereira ponderam:

O volume de escorrência e de escoamento subsuperficial e subterrâneo (fluxo de base) irão depender de várias características topográficas e morfológicas, da litologia, do tipo de solo, do tipo de coberto vegetal e da permeabilidade dos terrenos. Neste contexto, adquire grande significado a ocupação antrópica do espaço, responsável por profundas mutações nos processos de drenagem naturais, através da alteração das formas de relevo, da artificialização do curso natural das linhas de água e da crescente impermeabilização do solo, decorrentes da expansão contínua e desordenada das áreas urbanizadas. Note-se que o grau de impermeabilização, ao condicionar a taxa de infiltração, é um fator decisivo na rapidez da concentração da escorrência nos locais onde, por fatores de ordem morfológicas ou outros, a drenagem tende a confluir. A impermeabilização do solo resultante da urbanização conduz, invariavelmente, a um forte decréscimo do desfasamento temporal entre o momento da queda da precipitação e a ocorrência de inundações como resultado da concentração da drenagem (PEDROSA e PEREIRA, 2006, p.37).

No que diz respeito, mais especificamente, à ampliação da curva de vazão, em relação à curva do fluxo de base, durante a estação chuvosa (Figura 5.5 – E), também verificável por meio dos dados presentes na Figura 5.4, o que chama a atenção é exatamente a forma das curvas que representam os fluxos (deflúvio total e basal).

⁴⁴ Conforme mapeamento apresentado no Capítulo 4.

Tucci (2009) observa, em um hidrograma unitário⁴⁵, que um pico de vazão (Q_{max1}) tem um tempo (t_1) menor em áreas urbanizadas, com relação a áreas não urbanizadas, embora apresente amplitude mais elevada. A vazão de pico em áreas não urbanizadas (Q_{max2}), além de um pico reduzido, tem uma duração temporal maior (t_2) (Figura 5.6).

Isso decorre da ampliação dos fluxos superficiais em áreas urbanizadas, os quais mais rapidamente afluem para os cursos d'água – e em maior volume – nas cidades. Por esse motivo ocorre uma rápida elevação da vazão dos rios, que tende a durar um tempo menor, uma vez que a duração do hidrograma das áreas não urbanizadas em muito diz a respeito aos fluxos basais – que levam um tempo maior para atingir os cursos d'água e escoam mais lentamente para estes canais.

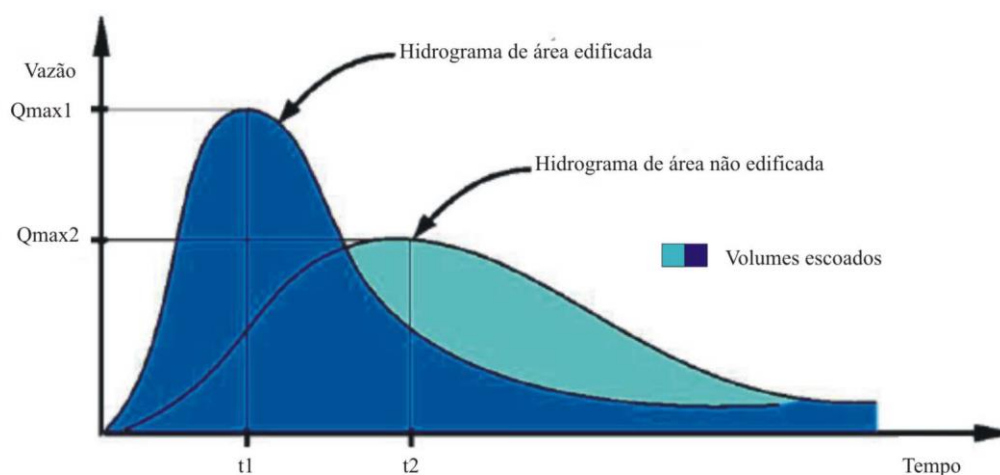


Figura 5.6 – Hidrogramas de áreas edificadas e não edificadas (TUCCI, 2009).

Embora se trate de uma analogia entre o modelo teórico de um hidrograma unitário e balanços hídricos simplificados para Teófilo Otoni, este fenômeno pode ser identificado na cidade, especialmente se considerada a Figura 5.5 – E, com relação às anteriores (Figura 5.5 – A a D): nota-se aumento da amplitude do escoamento total durante a estação chuvosa a partir dos anos 2000. A mesma avaliação é válida para o fenômeno retratado por meio da Figura 5.5 – F, na qual se representa com clareza o aumento dos valores de vazão – e redução do escoamento basal. Essa correlação entre o aumento da vazão do Rio Todos os Santos, de modo

⁴⁵ Hidrograma unitário (HU) é a curva do escoamento direto, causado por uma chuva efetiva unitária (por exemplo, uma chuva de 1mm ou 1cm), por isso o método é chamado de hidrograma unitário (COLLISCHONN e TASSI, 2008).

absoluto e com relação ao fluxo de base inferido, é também verificável por meio da Figura 5.4, especialmente a partir do ano de 2003.

Não parece ser coincidência que 9 dos 12 eventos pluviométricos extremos relacionados a inundações na cidade tenham ocorrido a partir dos anos de 2002. Ainda que as distorções observadas entre o deflúvio total do Rio Todos os Santos e o escoamento basal na área investigada possam, em primeira análise, ser atribuídos às oscilações climáticas já debatidas, causa estranheza o fato de se ter registrado redução dos fluxos basais – sobretudo quando, em épocas anteriores a essa, estes mesmos fluxos possam ter reagido em maior concordância com as mudanças da precipitação dos períodos.

Esse fato parece ser explicado pela ocorrência concomitante dos fenômenos: elevação dos eventos pluviométricos extremos e crescimento da área impermeabilizada. Seu resultado é a precipitação efetiva aumentada em razão do incremento dos volumes de chuvas, a qual tende a predominar sobre os fluxos de base em função da impermeabilização dos solos, acarretando elevação da vazão do Rio Todos os Santos.

A esse respeito Binda *et al.* (2012, p.37) consideram que, nas áreas urbanas edificadas, “alterações promovem a diminuição do tempo de concentração (*lag time*) devido ao fato de que a água escoada superficialmente chega muito mais rápido ao sistema de drenagem do que outrora”. Isso decorre do aumento dos picos de vazão em decorrência da ampliação dos fluxos superficiais, que podem ser majorados em duas (LEOPOLD, 1991), quatro (CHIN, 2006) ou até seis vezes (WOLMAN, 1967) mais do que o que se verificava em épocas anteriores à urbanização.

Importante reflexão é apresentada por Pedrosa e Pereira (2006, p.37), a qual merece consideração, a saber:

Uma das primeiras questões que se colocou foi a importância da precipitação acumulada em dias anteriores no desencadear do fenômeno de inundações urbanas. Naturalmente, se o solo se encontrar saturado, estando esgotada a sua capacidade de infiltração e retenção de água, quase toda a precipitação será convertida em escoamento. No entanto, terá este aspecto significado em áreas fortemente urbanizadas, nas quais a taxa de impermeabilização é de tal modo elevada que se traduz no anular quase absoluto da infiltração?

Em verdade, alguns dos episódios pluviométricos, considerados neste trabalho como extremos, foram precedidos de dias em que se registrou precipitação. Há até mesmo os eventos de 2013, quando as inundações apresentam relação com um período chuvoso superior a 24 horas. Por outro lado, durante os fenômenos de 2002, 2012 e 2016, sobretudo aquele de 2002,

as inundações ocorreram concomitantemente ao momento das chuvas, e, nestes casos, é possível interpretar que o escoamento superficial ampliado pela impermeabilização dos solos tem forte participação na rápida elevação da vazão do Rio Todos os Santos. Em apoio a esta conclusão, tais inundações ocorreram durante ou após a década de 2000, quando se tornam mais evidentes os desequilíbrios nos balanços hídricos simplificados na área investigada, resultantes da expansão da área impermeabilizada.

Kobiyama *et al.* (2006), conforme já discutido neste trabalho, apresentaram distinção entre as inundações bruscas e graduais, sendo que as primeiras em geral são consequências de chuvas intensas e concentradas. A elevação dos caudais é súbita e o escoamento é violento (CASTRO, 2003). Assim sendo, os referidos eventos pluviométricos ocorridos em 2002, 2012 e 2016 ocasionaram inundações urbanas⁴⁶ que apresentem caráter de inundação brusca (*flash floods*), induzidas não apenas pela lâmina precipitada, mas também pelas características de uso e ocupação do solo da área de drenagem. A carência de informações não permite determinar se os eventos de 2013, relacionados a pluviosidade ao longo de dias consecutivos, se trataram de inundações graduais ou bruscas, pois não é possível correlacionar o momento em que as inundações ocorreram com os picos pluviométricos que podem ter causado elevação do caudal do Rio Todos os Santos. Outrossim, especialmente neste caso, o questionamento de Pedrosa e Pereira (2006) se mantém válido e aponta para a necessidade de investimento em pesquisa e monitoramento dos parâmetros climáticos e da vazão do Rio Todos os Santos.

Apesar do panorama até o momento desenvolvido, não é responsável negligenciar as barreiras vivenciadas ao longo da elaboração deste trabalho. Deparou-se com considerável carência de informações, especialmente a respeito da vazão do Rio Todos os Santos, tendo sido necessário tomar como referência valores referentes à jusante da área investigada. Não se trata de supervalorizar os esforços desenvolvidos, tampouco justificar lacunas por meio de dados aquém do que se entende como ideal, mas sim avaliar, por meio de uma análise conjuntural, o histórico dos fenômenos que apontam para uma alteração significativa nos fluxos superficiais e basais a partir do crescimento da impermeabilização dos solos na área investigada.

Cabe, também com relação a este tópico, salientar a necessidade de investimento em monitoramento e pesquisa e, apresentadas as ressalvas, observar que parece possível interpretar, em caráter sintético, que:

⁴⁶ Como entendidas por Mazoto (2015) – Capítulo 2.

1. A vazão do Rio Todos os Santos, bem como os volumes dos fluxos basais que o alimentam, estão intimamente associados às flutuações do regime pluviométrico da área investigada;
2. Sobretudo a partir do final da década de 1990 e início dos anos 2000 registrou-se aumento da vazão deste rio, ligada ao incremento do escoamento superficial, assim como possível redução dos fluxos basais presentes nos balanços hídricos simplificados;
3. Estas alterações são condizentes com a verificada alteração na distribuição das chuvas ocorrida nas últimas décadas – no que se refere ao deflúvio total do curso d'água avaliado – e a redução dos fluxos de base ocorreu no mesmo período em que se verifica aceleração do crescimento urbano;
4. O desequilíbrio do ciclo hidrológico na área investigada se manifesta também por meio da ocorrência de inundações, especialmente a partir do ano 2000;
5. As inundações urbanas registradas em Teófilo Otoni apresentam caráter de inundações bruscas, possivelmente relacionadas com a crescente impermeabilização dos solos e construção de obras de drenagem urbana, que convergem os fluxos superficiais diretamente para a calha do Rio Todos os Santos.

5.3 – Intervenções na hidrografia e degradação dos canais fluviais e planícies de inundação: um panorama do Rio Todos os Santos e de seus tributários

Inundações em meio urbano não ocorrem apenas como consequência de fenômenos naturais. Embora pluviosidade elevada em curto intervalo de tempo e restrita a determinada área sejam gatilho para a deflagração dos fenômenos, as severas alterações do espaço urbano estão, em maior ou menor grau, relacionadas com a ocorrência e frequência destes.

Para Herrmann (1998a), ainda que inundações sejam fenômenos naturais, é necessária análise que considere diversos fatores, como clima, demais características físicas e modificações causadas pelo homem – uma vez que qualquer alteração sobre o sistema de drenagem pode gerar desequilíbrios que agravam os impactos ambientais, notadamente a jusante da área afetada. Tal cenário se observa na área investigada, sendo modificações impostas à drenagem urbana prováveis elementos contributivos para a ocorrência de inundações as intervenções diretas nos canais de drenagem ou às suas margens. Neste tópico são

apresentadas considerações sobre as intervenções de caráter estrutural, preventivas ou não, que interferem, direta ou indiretamente, na dinâmica fluvial dos rios Todos os Santos e Santo Antônio, correlacionáveis às inundações registradas na área investigada. O cenário do Rio São Jacinto será objeto de discussão oportuna, uma vez que as intervenções antrópicas diretas em seu leito inspiram avaliação.

5.3.1 – O Rio Santo Antônio

O histórico de crescimento de Teófilo Otoni, conforme demonstrado por Ferraz *et al.* (2016a), está intimamente relacionado à ocupação das margens dos cursos d'água (Figura 5.7), seja em um primeiro momento durante os primórdios da cidade, seja em décadas mais recentes, como a atesta o processo de ocupação verificado segundo eixos de expansão urbana.

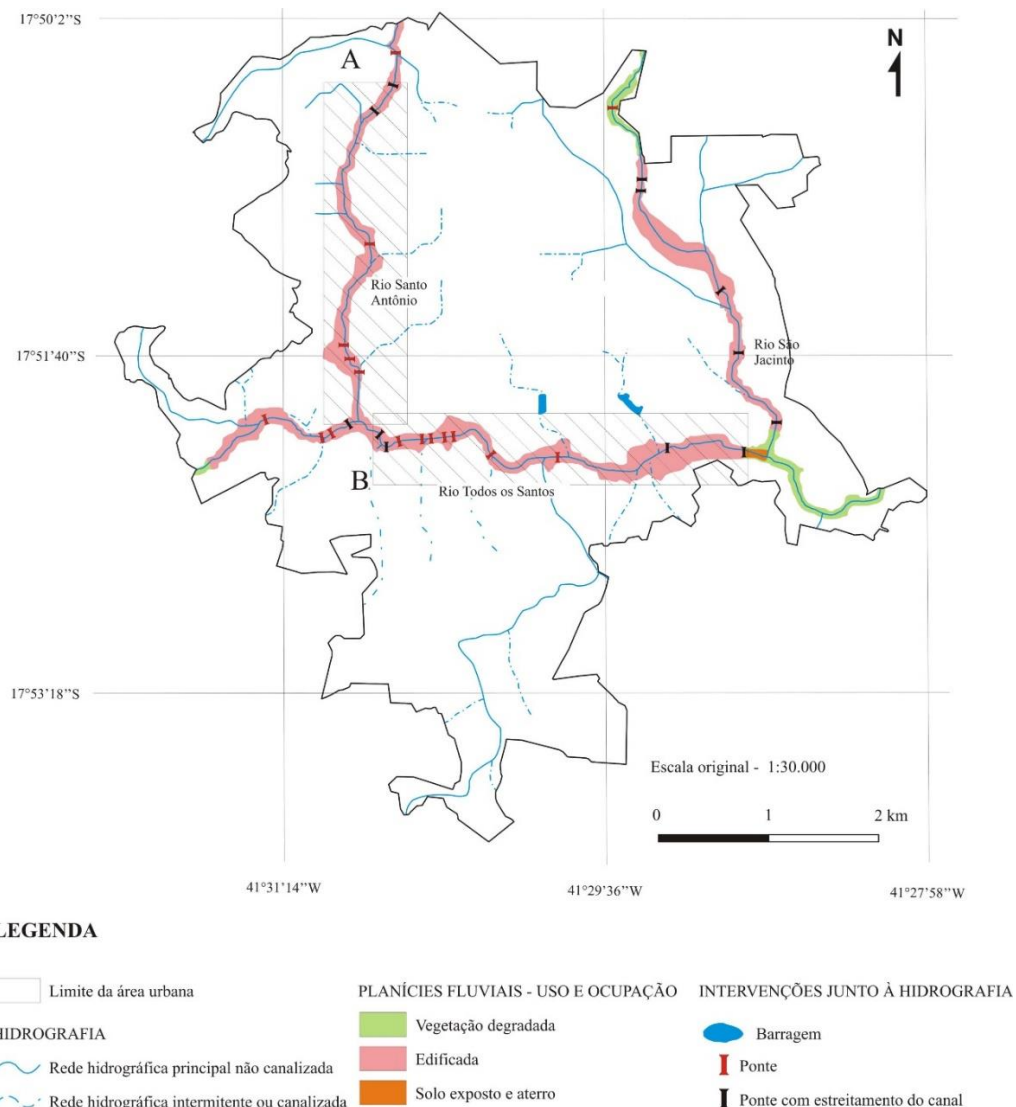


Figura 5.7 – As planícies fluviais da área urbana de Teófilo Otoni (MG).

Como resultado da ocupação das planícies de inundação dos principais canais fluviais da cidade, estas se apresentam hoje quase que totalmente descaracterizadas pela expansão urbana, podendo ser consideradas, indiscriminadamente, como áreas edificadas (Figura 5.7). A respeito das planícies fluviais do Rio Santo Antônio, é possível afirmar que, no interior da área urbana, a ocupação do solo tem se processado ao longo de sua extensão, tanto em sua margem esquerda quanto direita (Figura 5.8 – A’).

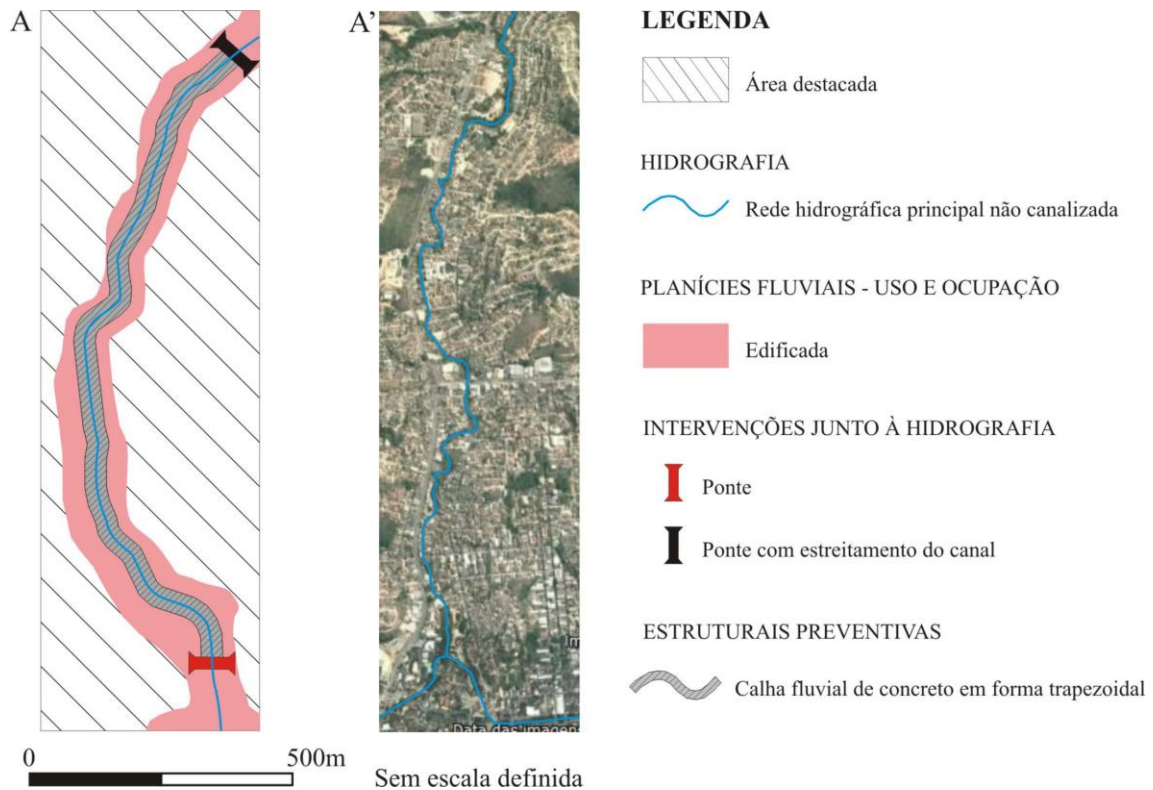


Figura 5.8 – Leito e planícies de inundação do Rio Santo Antônio na cidade de Teófilo Otoni. Observe o segmento do canal que sofreu intervenção estrutural na forma de canalização aberta em concreto (em A) e a ocupação às margens do Rio Santo Antônio, desde o limite da área urbana até a desembocadura junto ao Rio Todos os Santos – imagem *Google Earth Pro* (em A’).

No que se refere à ocupação nas áreas de várzea do Rio Santo Antônio, há importante consideração a ser estabelecida: a assimetria entre suas margens esquerda e direita – e as consequências da ocupação desordenada, em ambos os casos.

Se observado o Rio Santo Antônio, localizado no noroeste da área investigada, pode-se verificar que seu leito está encaixado no contato entre duas litologias distintas⁴⁷. Possivelmente como reflexo disso, este canal é também limítrofe entre duas unidades de relevo, sendo a

⁴⁷ Conforme Mapa Geológico, no Capítulo 4.

morfologia que segue em continuidade à sua margem direita⁴⁸ a mais declivosa e dissecada das unidades de relevo da área investigada. Isso indica que a impermeabilização dessas superfícies, assim como a ocupação das vertentes próximas ao Rio Santo Antônio, tende a acelerar os fluxos superficiais que escoam das áreas mais elevadas, os quais se lançam no rio por meio das superfícies das vias de circulação ou sistemas de drenagem, especialmente a oeste desse rio.

Consequência lógica desse modelo de ocupação irracional é a rápida elevação do caudal do Rio Santo Antônio durante os picos de chuva, obrigando o Poder Público Municipal a intervenções. A opção dos gestores se materializou na canalização aberta de parte do leito fluvial (Figura 5.8 – A), possivelmente no intuito de aumentar a velocidade do fluxo no canal durante os episódios pluviométricos concentrados.

Durante a elaboração deste trabalho não foram encontrados registros das inundações no setor canalizado do Rio Santo Antônio na área urbana anteriores a 2011. Os dados referentes a inundações relacionadas a este curso d'água são recentes, da década de 2010, e sugerem que as obras não resolveram, em sua totalidade, as inundações neste trecho da cidade. Segundo informações do Corpo de Bombeiros e da Polícia Militar, entre os anos de 2011 e 2015, os bairros Jardim Pedrosa (margem direita) e Bela Vista (margem esquerda) totalizaram sete ocorrências para salvamento durante inundações.

É possível que enchentes do Rio Santo Antônio tenham, especialmente neste setor, um agravante: residências situadas a poucos metros do canal (Figura 5.9 – A) que avançaram sobremaneira sobre áreas impróprias à ocupação civil. Elevações do caudal que, em circunstâncias menos desfavoráveis, possivelmente não configurariam transtornos à população, nesse caso, estão às portas das residências, deixando moradores ilhados ou mesmo resultando em incursão de águas no interior das suas casas. Além disso, a canalização em concreto encontra-se em variados estágios de degradação (Figura 5.9 – B), sendo sua eficiência, que pode ser questionável, reduzida ou mesmo comprometida.

As edificações retratadas na Figura 5.9 – A foram construídas ao longo da margem direita do Rio Santo Antônio, a mesma que está adjacente à mais declivosa das unidades de relevo da área investigada. Isso sugere que o escoamento superficial sobre essas encostas, que passaram por adensamento urbano nas últimas décadas, seja uma das causas dos mais recentes chamados aos órgãos de segurança, durante eventos de elevados volumes pluviométricos.

⁴⁸ Conforme Mapa de Unidades de Relevo, no Capítulo 4.



Figura 5.9 – Aspectos do setor canalizado do Rio Santo Antônio em Teófilo Otoni. Em A se verifica a proximidade entre as residências e o canal e, em B, o estágio degradado da intervenção de natureza estrutural junto à calha fluvial.

5.3.2 – O Rio Todos os Santos

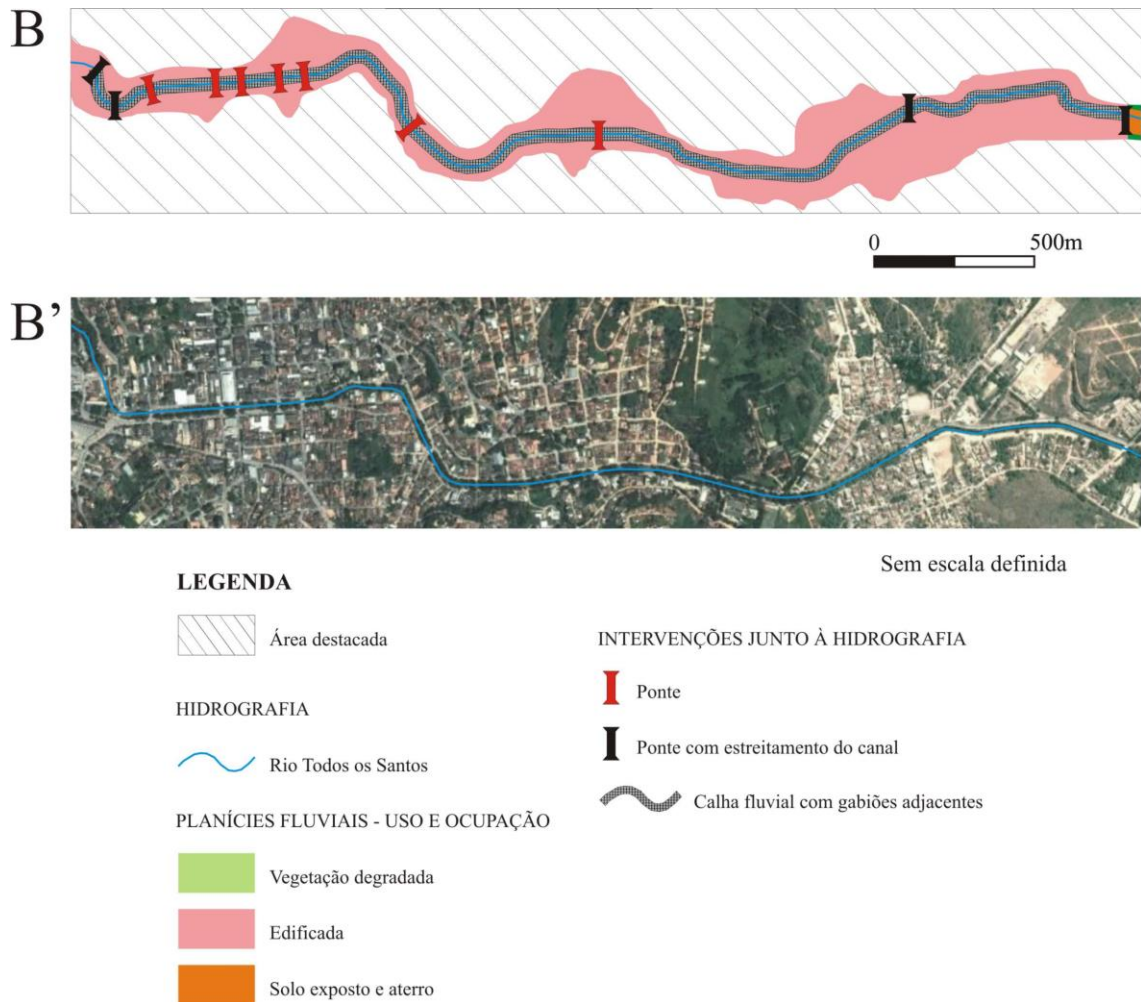
Principal curso d'água da área analisada, o Rio Todos os Santos está correlacionado às mais importantes inundações que ocorreram na cidade e, de modo semelhante ao que ocorre com o Rio Santo Antônio, as planícies fluviais que o margeiam se encontram alteradas pela ocupação urbana em sua quase totalidade (Figura 5.10).

Em primeira análise, merece destaque o segmento do canal fluvial canalizado por gabiões⁴⁹, construídos ao longo de significativa extensão do rio no interior da área urbana (Figura 5.10). O que se observa ao longo desta seção do leito do rio é a redução da sinuosidade do canal (Figura 5.10 – B'), visto que ocorreu significativa supressão de trechos meandantes por traçados retilíneos. Neste cenário, a dinâmica fluvial, em princípio, se caracteriza por maior velocidade de escoamento do caudal.

Segundo a Prefeitura Municipal de Teófilo Otoni (TEÓFILO OTONI, 2010), as obras para implementação dos gabiões junto às margens do Rio Todos os Santos foram iniciadas e concluídas em 1983, mas os motivos que levaram o Poder Público à execução do projeto não são claramente informados. O Plano Diretor do município nem sequer faz menção à obra. Assim, não é possível determinar se o objetivo que moveu a empreitada foi a execução de estruturas de caráter preventivo quanto a enchentes ou inundações, uma vez que muros de

⁴⁹ Segundo Barros (1992) gabiões ou muros em gabiões são estruturas de arrimo tipo gravidade, flexíveis e permeáveis, constituídas por caixas de tela metálica em malha hexagonal de dupla torção, preenchidas por pedra de mão ou britadas, cujo diâmetro deve estar entre uma vez e meia a duas vezes e meia a máxima abertura da malha.

gabião são usados para tal finalidade. Silva e Pires (2007) consideram estruturas em gabiões intervenções para fixação das margens dos leitos fluviais e, portanto, possuem caráter de intervenção estrutural preventiva. Para os autores, o uso de gabiões pode ter importante papel em obras de recuperação de cursos d'água, embora estas estruturas possam sofrer rupturas em função de implantação inadequada ou instabilidade do canal.



5.110– Destaque de trecho do Rio Todos os Santos confinado por gabiões em ambas as margens (conforme mapeado em B). Notar o traçado retilíneo assumido pelo curso d'água após a intervenção e a quase totalidade de ocupação às suas margens – imagem do *Google Earth Pro* (em B').

Andrade Filho *et al.* (2000) sugerem a construção de gabiões como medidas preventivas para contenção de erosão em bacias de drenagem e Rodrigues *et al.* (2003) explicam que quando o coeficiente de atrito de um canal fluvial é diminuído (redução da rugosidade do canal), a velocidade da vazão tende a aumentar. Na mesma linha, Roy *et al.* (1988) entendem que a diminuição do coeficiente de atrito do leito está associada ao aumento da vazão. De modo semelhante ao que se observa no segmento canalizado do Rio Santo Antônio, é possível afirmar

que, caso a canalização por gabiões no Rio Todos os Santos tenha sido projetada e construída como estrutura preventiva contra inundações, os resultados não são eficientes em sua totalidade. No Quadro 5.1 estão sintetizados os dados fornecidos pelo Corpo de Bombeiros e Polícia Militar referentes a alagamentos e inundações no período de 2011 a 2015.

Quadro 5.1 – Operações de salvamento e avaliações de risco em Teófilo Otoni entre 2011 e 2015, segundo Corpo de Bombeiros e Polícia Militar.

BAIRROS	AVALIAÇÕES DE RISCO	OPERAÇÕES DE SALVAMENTO	BAIRROS	AVALIAÇÕES DE RISCO	OPERAÇÕES DE SALVAMENTO
Bela Vista	3	4	Manoel Pimenta		2
Castro Pires		1	Marajoara		1
Cidade Nova		1	Matinha	1	1
Concórdia		1	Mucuri		1
Dr. Laerte Leander		4	Novo Horizonte		1
Esperança		1	Olga Correia Prates		4
Frei Dimas		1	Palmeiras	1	1
Grão Pará		1	São Cristóvão	1	1
Jardim Floresta		2	São Jacinto	1	4
Jardim Iracema	1	2	Solidariedade	1	1
Jardim São Paulo		2	Tabajaras		1
Jardim Serra Verde	1		Teófilo Rocha	1	
Joaquim Pedrosa	1	3	Turma 37		1
Lourival Soares Da Costa		1	Vila São João		13

Quanto às informações presentes neste quadro, é oportuno observar que o trecho canalizado do Rio Todos os Santos atravessa, além do centro da cidade, os bairros Manoel Pimenta, Ipiranga, Castro Pires e Vila São João. É importante salientar que nos bairros situados mais a montante, notadamente Centro e Ipiranga, não houve ocorrências para salvamento no período. A jusante destes, nos bairros Manuel Pimenta e Castro Pires, estão registradas apenas 3 ocorrências. Já no bairro Vila São João ocorreram 13 operações de salvamento durante enchentes e este é, exatamente, o setor oriental do tecido urbano, trecho mais a jusante do Rio Todos os Santos no interior da área urbana, conforme Figura 5.11.

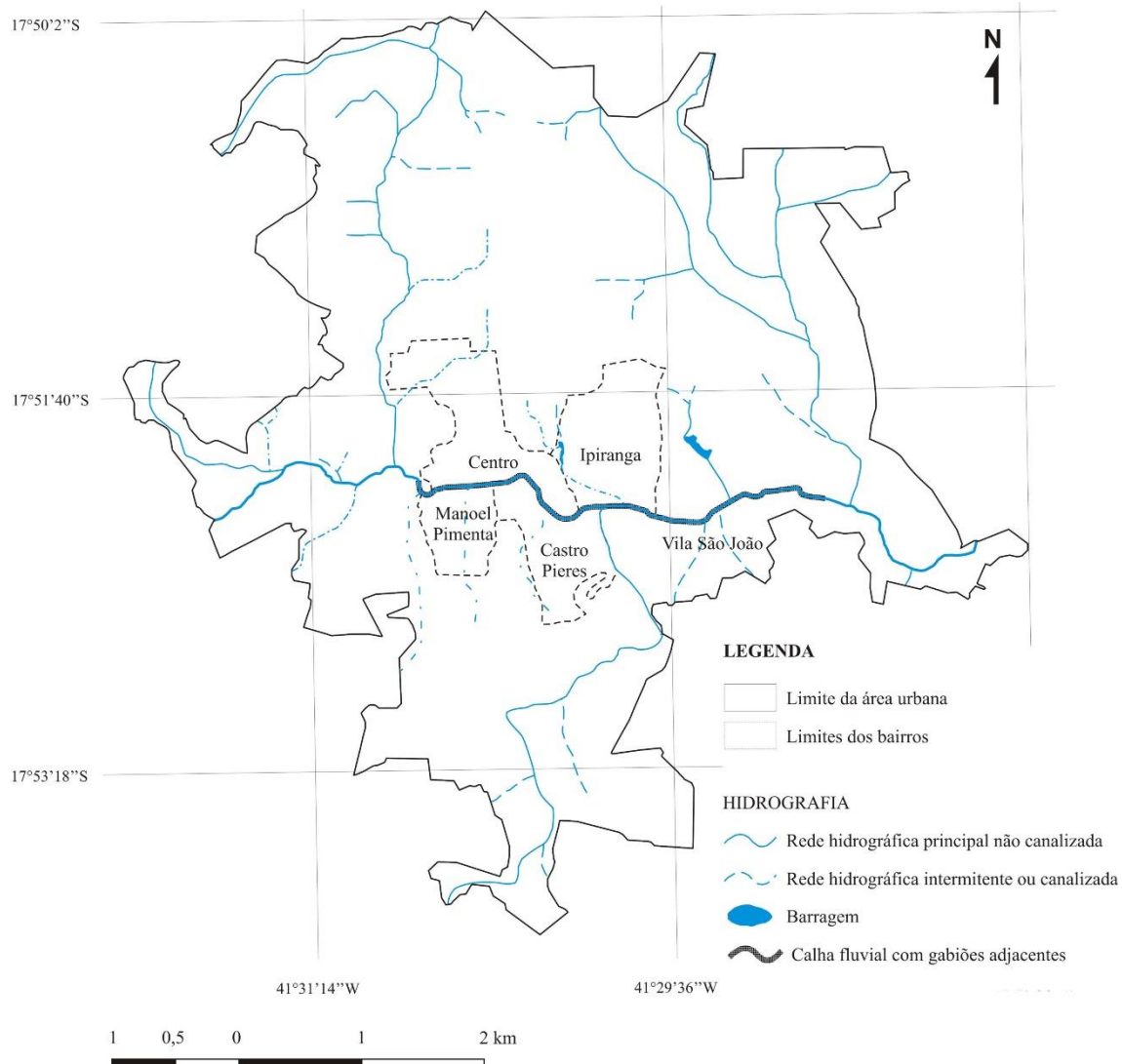


Figura 5.11 – Localização dos bairros afetados por inundações no setor canalizado com gabiões no Rio Todos os Santos, Teófilo Otoni (MG).

A esse respeito, em severa crítica à política de desenvolvimento e controle dos impactos quantitativos na drenagem baseada no conceito de “escoar a água precipitada o mais rápido possível”, Tucci (2003) esclarece que este princípio foi abandonado nos países desenvolvidos desde os primeiros anos da década de 1970, pois tem como consequência imediata o aumento das inundações a jusante, devido à canalização dos cursos d’água.

Essa análise é consistente com o que se verifica na área investigada. De fato, as porções mais a montante do setor canalizado nada ou pouco sofrem com inundações, quadro que não se verifica nos bairros mais a jusante. Mais ainda, se observada a Figura 5.12, é possível notar uma ponte que se destaca como marco do final da canalização do Rio Todos os Santos. Esta

ponte é, também, limite oriental do Bairro Vila São João, estando imediatamente a montante desta, a principal área de ocorrência de inundações em Teófilo Otoni.



Figura 5.12 – Final da canalização do Rio Todos os Santos (demarcada com o círculo vermelho). Note a que a jusante do trecho canalizado o rio se torna meandrante, uma vez que este setor não sofreu intervenção. Imagem Google Earth Pro.

Mesmo que não existam, até o momento, dados de longo prazo sobre a vazão a montante e jusante deste ponto do Rio Todos os Santos, é possível reconhecer os elementos que influenciam na recorrência de inundações no bairro Vila São João. Durante um evento pluviométrico extremo, comum na área investigada, os fluxos superficiais, ampliados e acelerados pela impermeabilização dos solos e direcionamento de enxurradas, fluem em direção ao Rio Todos os Santos e afluentes. O volume do rio se eleva e escoar em canal caracterizado por baixa sinuosidade, uma vez que está artificialmente isento de trechos meandantes (e possível coeficiente de atrito reduzido pelas intervenções junto à calha fluvial). Essa interpretação encontra respaldo em Reckziegel *et al.* (2005, p.13), ao afirmarem que

(...) o canal retificado gera inúmeros impactos geomorfológicos, como: a redução do comprimento do canal e a conseqüente mudança do padrão de drenagem, com perda dos meandros; alteração da forma do canal com o aprofundamento e alargamento do rio e; a diminuição da rugosidade do leito.

A jusante da ponte que demarca o final do setor canalizado, o rio possui elevada sinuosidade e, portanto, a velocidade de escoamento é reduzida, fazendo com que este ponto figure como um gargalo – o canal é estreito, meandrante e ainda apresenta margens degradadas,

conforme Figura 5.13. Como consequência, a montante deste ponto de estrangulamento, o caudal do rio extravasa para as planícies de inundação ocupadas por residências e demais estruturas urbanas – as quais reduzem ainda mais a velocidade do fluxo da inundação. Isso significa que intervenções não adequadamente planejadas, bem como a ocupação irracional do solo urbano, criam condições para que o setor oriental do tecido urbano esteja sujeito a inundações periódicas.



Figura 5.13 – Dois leitos de um rio: em A o leito canalizado do Rio Todos os Santos, cujos gabiões estão cobertos por vegetação que invade o canal, demarcados com as setas, em contraste com o trecho a jusante, em que inexistem as intervenções por meio de gabiões – B.

Embora outras pontes resultem em suaves estrangulamentos do canal fluvial ao longo da cidade, nenhuma delas parece exercer influência comparável ao que se nota nesse ponto de afunilamento do canal. O modelo aludido por Tucci (2003), “escoar a água precipitada o mais rápido possível”, de fato gera consequências em Teófilo Otoni, causando danos que tendem a se repetir no futuro, caso ações planejadas e bem executadas não sejam implementadas. O mesmo autor alerta que a canalização de corpos fluviais tem sido, ao longo dos tempos, extensivamente utilizada para transferir as inundações de um ponto para outro dentro da mesma bacia, sem que sejam avaliados os efeitos a jusante ou mesmo os reais benefícios das obras executadas (TUCCI, 2009). Esta interpretação está materializada na área investigada, mesmo que, em muitos casos, tais mecanismos estão associados a experiências de sucesso, quando acompanhadas de um eficiente sistema de drenagem urbana, o que não se verificou em Teófilo Otoni.

A esse respeito, Botelho (2011) considera que, visando solucionar o problema das enchentes nas cidades, o homem alterou profundamente os rios, que passaram a ser “urbanos”. Obras estruturais e mecânicas nos cursos d’água têm levado ao surgimento de problemas

ambientais que em coisa alguma são novos: enchentes, prejuízos materiais, propagação de doenças e perdas de vidas.

Para Castro e Dias (2017, p.696) “obras mal planejadas são reflexos da falta de um planejamento urbano adequado, que leve em consideração as condições topográficas do relevo, assim como um sistema eficiente de drenagem urbana”. Essas palavras são adequadas para o que se verifica em Teófilo Otoni, uma vez que é irracional desviar o problema de um setor da cidade e concentrar em outro, seja como consequência de planejamento inadequado ou desconhecimento das características naturais aliadas à incapacidade de avaliar as implicações futuras das intervenções estruturais junto aos canais fluviais.

5.4 – Risco e geomorfologia: considerações sobre relevo, inundações e alagamentos em Teófilo Otoni

Parece consensual serem inundações e alagamentos resultantes de elementos de ordem natural e antrópica, os quais determinam ou condicionam tais fenômenos. Para Amaral e Ribeiro (2009), as formas do relevo são condicionantes naturais para a ocorrência de inundações, enchentes ou alagamentos, não devendo, contudo, ser analisadas sem as devidas correlações com demais fatores de ordem natural ou antrópica. Segundo os autores, magnitude e frequência dos processos hidrológicos são determinados pelos seguintes condicionantes: intensidade, quantidade e distribuição da precipitação, taxa de infiltração de água no solo, grau de saturação do solo e características morfométricas e morfológicas da bacia de drenagem.

Nesse aspecto, Reis *et al.* (2012, p.32), tendo como área de estudo a cidade de Belo Horizonte, consideraram que o município sofre “drasticamente com a ocorrência de desastres relacionados a inundações”, especialmente em função da ocorrência de enxurradas, que podem ser “consideradas fortes condicionantes a esses processos, tendo em vista que a cidade se localiza em região de relevo acidentado e ondulado e bastante impermeabilizado pela urbanização”. Para os autores o relevo exerce, assim, papel preponderante na formação de fluxos rápidos de escoamento superficial, os quais, no caso daquela cidade, determinam um menor intervalo temporal entre a precipitação e os alagamentos, especialmente em áreas impermeabilizadas. Para Morisawa (1962), o fluxo nos cursos d’água, durante as chuvas, é determinado pelos fatores que influenciam no tempo total que as águas da precipitação pluviométrica levam para percorrer toda a bacia.

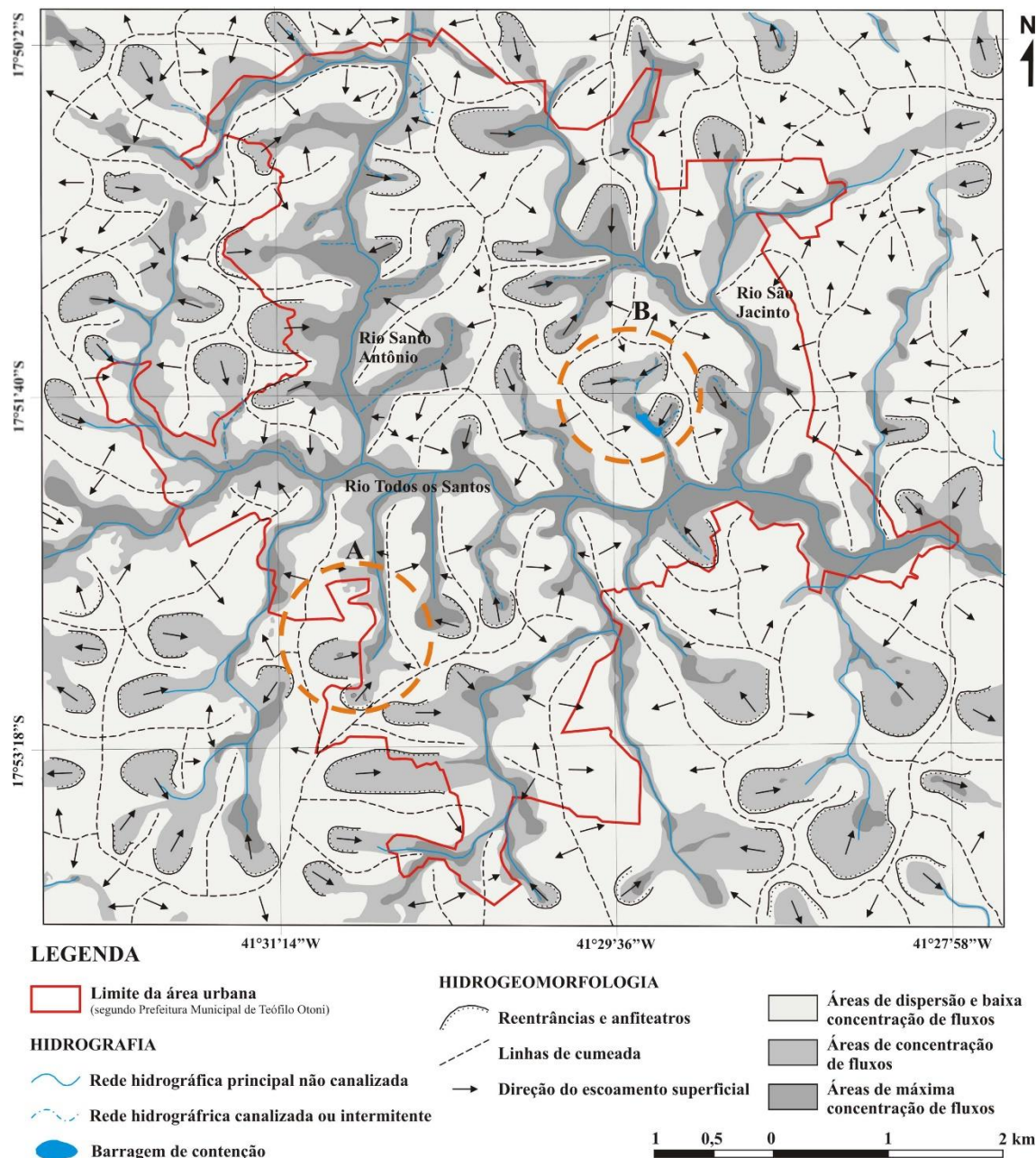
Já foi debatido, em tópico anterior deste capítulo, acerca do contexto geomorfológico de setor do Rio Santo Antônio perante a ocorrência de inundações, em função das peculiaridades do local. Naquela análise já se chamava a atenção para as formas da superfície, interface sobre a qual a água oriunda das chuvas escoava em direção aos cursos d'água. Mais além, com auxílio do mapa de concentração do escoamento superficial na área investigada (Figura 5.14), é possível verificar que uma expressiva quantidade de reentrâncias e anfiteatros configuram a morfologia de muitas das vertentes presentes na área urbana de Teófilo Otoni e fora dela. Retomando Fernandes *et al.* (2001, p. 54), as “porções côncavas do relevo (*hollows*) (...) representam zonas de convergência de fluxos tanto superficiais quanto subsuperficiais”, opinião balizada por Andrade *et al.* (2015), que consideram anfiteatros como zonas de concentração de drenagem.

Muitas destas reentrâncias presentes na área investigada, algumas delas impermeabilizadas pela ocupação urbana, alimentam canais fluviais de primeira ou segunda ordem, de curta extensão, os quais rapidamente transportam os fluxos de chuvas dessas áreas para o Rio Todos os Santos, contribuindo para a nucleação de inundações rápidas verificadas na cidade. Este efeito da morfologia das encostas sobre a vazão dos canais fluviais durante as chuvas é notadamente visível também junto aos afluentes da margem direita do Rio Santo Antônio, contribuindo, seguramente, para as inundações nesta porção da área investigada (Figura 5.14).

Desta forma, não apenas a assimetria do relevo nas margens dos rios (no caso do Rio Santo Antônio), mas também a morfologia das vertentes parece apresentar papel relevante para a deflagração de inundações em Teófilo Otoni.

O relevo da área em análise, intensamente dissecado pela incisão dos canais fluviais, é caracterizado por morros isolados, a maior parte deles exibindo vertentes de elevada declividade. Pequenas microbacias de drenagem são eficientes áreas concentradoras do escoamento superficial, as quais não se restringem apenas aos vales fluviais, como se pode verificar na Figura 5.14, mas também às principais concavidades das encostas.

A geomorfologia da área investigada parece, portanto, favorecer concentração do escoamento superficial, motivo pelo qual os eventos pluviométricos extremos tendem a refletir em elevação rápida da vazão dos cursos d'água, especialmente no baixo curso do Rio Todos os Santos na área urbana, principal feição concentradora de fluxos no interior da cidade (Figura 5.14).



5.14 – Mapa de concentração do escoamento superficial na área investigada. Detalhes dos bairros Olga Corrêa Prates e Laerte Laender (em A) e Tabajaras e Ipiranga (Em B). Note que os fundos de vales se caracterizam como áreas de máxima concentração de fluxos, visto que para estas convergem o escoamento superficial das áreas adjacentes, especialmente vertentes nas quais estão presentes concavidades (reentrâncias e anfiteatros). Adaptado de Ferraz *et al.* (2018).

Os alagamentos que ocorrem em Teófilo Otoni podem revelar íntima relação com o pano de fundo geomorfológico sobre o qual a cidade se expandiu. Nesse contexto, dois casos merecem destaque, sendo objetos dos próximos tópicos deste capítulo, a saber: (i) a área dos bairros Olga Corrêa Prates e Dr. Laerte Laender e (ii) o bairro Tabajaras, destacados respectivamente com os círculos A e B na Figura 5.14.

5.4.1 – Bairros Olga Corrêa Prates e Dr. Laerte Laender

Os bairros Olga Corrêa Prates e Dr. Laerte Laender⁵⁰ (Figura 5.14 – A), configuram área que registra alagamentos⁵¹, aparentemente recorrentes, especialmente a partir da década de 2000. A imprensa local tem destacado atenção constante aos eventos nesse setor da cidade, mesmo quando outras áreas não apresentam problemas de maior gravidade. Recentes trabalhos se voltam para estes bairros, alguns deles objetivando compreender por que são ali corriqueiros os alagamentos, a exemplo dos esforços de Gonçalves *et al.* (2014) e Lima e Ferraz (2016).

A sub-bacia ocupada pela implementação dos bairros possui pequena área e é drenada por curso d'água de segunda ordem, canalizado sob a rua principal, o que caracteriza fundo de vale impermeabilizado, com canal subterrâneo, ladeado por vertentes de elevada declividade, algumas delas com expressivas concavidades, quase todas ocupadas ou degradadas pela abertura de loteamentos (Figura 5.15).

O histórico de ocupação dessa área, em princípio inadequada para a urbanização em função de suas características geomorfológicas, é controverso. Determinar como as alterações urbanas interferiram em seu equilíbrio hidrodinâmico é tarefa complexa, uma vez que durante a elaboração deste trabalho não foram encontradas informações fidedignas para estabelecer quando o bairro Olga Corrêa Prates foi construído, nem sequer sendo possível determinar se este é fruto de um loteamento ou resultado da expansão não planejada do tecido urbano. A esse respeito, Ferraz *et al.* (2016a) alegam que a ocupação desta área ocorreu ao final da década de 1980 ou início da década de 1990, período marcado pelo crescimento da cidade no interior dos limites da área urbana daquele tempo.

O segundo bairro, Dr. Laerte Laender, a montante do Olga Corrêa Prates, é seguramente mais recente e resulta de loteamento cujas obras tiveram início na década de 2000 (GONÇALVES *et al.*, 2014). Esses autores registram conturbada implementação do loteamento, ao afirmarem que:

De acordo com boletins de ocorrência registrados na Polícia Ambiental de Teófilo Otoni, o referido empreendimento foi embargado pela primeira vez em 17/09/2007, pois, conforme tal documento, a construtora não possuía engenheiro responsável pela obra e não havia licença ambiental. Apesar de embargada, nos anos de 2008 a 2013 existiram outras ocorrências policiais, a maioria por deslizamento de solo afetando residências (GONÇALVES *et al.*, 2014, p.316).

⁵⁰ Originalmente denominado Bairro Alegria.

⁵¹ Figura 5.14 – A.



Figura 5.15 – Imagem de satélite dos bairros Olga Corrêa Prates e Dr. Laerte Laender que retrata os principais elementos morfológicos de interesse neste trabalho.

No que diz respeito aos alagamentos nesta porção da cidade, análise mais detalhada do mapa concentração do escoamento superficial (Figura 5.14) e da Figura 5.15 permite verificar que a morfologia das encostas constitui condicionante de relevância quanto a deflagração de alagamentos. Para Araújo (2006), as curvaturas das vertentes representam caracterização das formas do terreno, às quais se associam propriedades hidrológicas e de transporte de sólidos, diretamente, e pedológicas, ecológicas, além de uma série de outros aspectos. Além das formas convergentes do terreno – as quais funcionam como áreas de concentração do escoamento superficial – localizadas sobretudo na porção ocidental dos bairros, há as que apresentam rampas, convexas ou retilíneas, e elevada declividade (Figura 5.16 – A).

Em conjunto com as linhas de cumeada que delimitam a sub-bacia, essas feições condicionam o rápido escoamento dos fluxos para o interior da área. Trata-se de alvéolo que concentra e direciona a água proveniente das chuvas para o fundo impermeabilizado do vale,

ocupado por ruas e construções residenciais e comerciais, onde ocorrem os alagamentos registrados (Figura 5.16 – A).

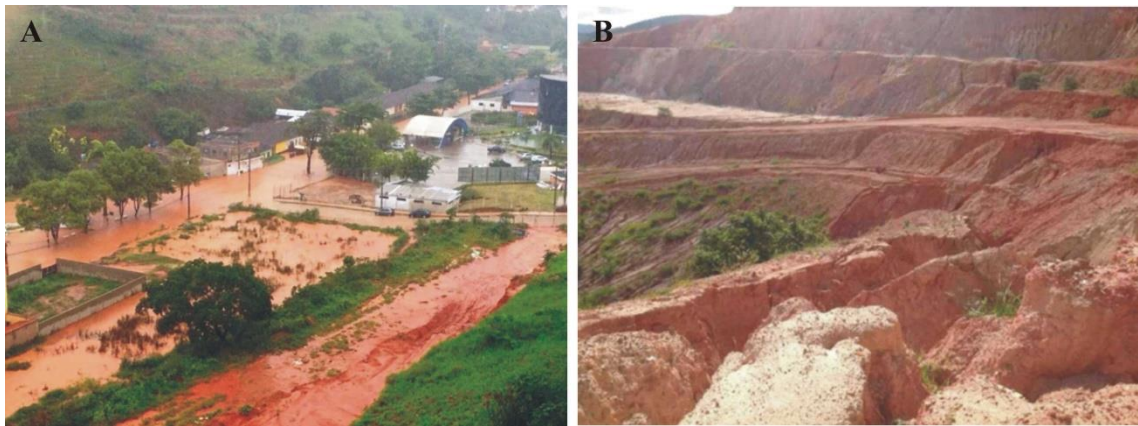


Figura 5.16 – Aspectos geomorfológicos do bairro Olga Corrêa Prates, alagado em 2014, e Dr. Laerte Laender. Em A, note que o fundo do vale, delimitado por vertente de elevada declividade (à esquerda) é canal para o qual escoam os fluxos das vertentes e anfiteatros – não passíveis de reconhecimento nesta imagem. Em B, solo exposto em talude no bairro Dr. Laerte Laender, marcado por cicatrizes das enxurradas que movimentaram solo para o fundo do vale, aterrando estruturas urbanas. Fonte: Diário de Teófilo Otoni – A – e arquivo pessoal – B.

Além destes aspectos, nas porções central e sudoeste da área estão localizadas feições severamente impactadas pela implementação do bairro Dr. Laerte Laender, que desconfigurou bordas de anfiteatros, hoje em avançado estágio de degradação (Figura 5.16 – B). Nestas feições, a morfologia natural das vertentes foi suprimida por taludes íngremes, nos quais estão expostos horizontes C dos solos, com altos teores de silte e sem estruturação, o que torna estes materiais mais sujeitos a erosão acelerada, não se notando a existência de quaisquer indícios de estruturas de controle ou direcionamento da drenagem (Figura 5.16 – B).

A ocupação urbana nestes bairros avançou sobre áreas que naturalmente se apresentavam como concentradoras do escoamento superficial que, associado à redução da capacidade de infiltração decorrente da impermeabilização dos solos gera enxurradas, cujas cicatrizes podem ser vistas na Figura 5.16 – B. Essas enxurradas transportam volume considerável de materiais terrígenos oriundos das superfícies degradadas. Se é fato que o já referido embargo judicial impede a continuidade das obras que agravaram o cenário desta área, é também verdade que mantém no local cortes de talude nos quais, até o momento da finalização deste trabalho, não se observou adoção de qualquer medida de controle ou mitigação de danos.

Como resultado, alagamentos são corriqueiros nos bairros e a esse respeito, Gonçalves *et al.* (2014, p.317) concluem que:

(...) a exposição do solo, a intervenção irregular e a ausência de estruturas de drenagem fazem com que o loteamento configure micro bacia alveolar, cuja saída do fluxo concentrado é o eixo principal do bairro Olga Corrêa Prates (...). Este, de outrora raras inundações, convive com nova realidade: em toda estação chuvosa – que tão bem caracteriza o clima da região – as enchentes são comuns.

Em síntese, pode-se afirmar que os bairros Olga Corrêa Prates e Dr. Laerte Laender fazem parte de um contexto singular, em que os aspectos avaliados corroboram para a ocorrência de alagamentos – ou os intensifica. O episódio registrado em foto (Figura 5.16 – A), ocorrido precisamente no bairro Olga Corrêa Prates, no ano de 2014, parece ter sido a mais grave ocorrência de alagamento em toda a cidade naquele ano, não havendo dados comparáveis a este em outros bairros. Isso ocorre porque um contexto geomorfológico intrínseco à área contribui para o rápido escoamento dos fluxos resultantes das chuvas para o fundo de vale, além de que a maioria das vertentes se encontra ocupada ou severamente degradada pelo inadequado modelo de produção do espaço urbano. A área receptora destes fluxos, fundo de vale também impermeabilizado, evidentemente não está apta a escoar toda a vazão que deveria convergir para um curso d’água cuja canalização se atribui ao final da década de 1980, quando a ocupação deste setor da cidade era, seguramente, muito inferior ao que hoje se verifica.

5.4.2 – Bairro Tabajaras

O Bairro Tabajaras⁵² é intrigante, no que se refere aos alagamentos. Nos dados do Corpo de Bombeiros e Polícia Militar há apenas 1 (um) registro de operação para salvamento durante alagamentos, ocorrido no ano de 2013. A imprensa local registra evento desta natureza na localidade em 15 de dezembro de 2014⁵³, enquanto Lima e Ferraz (2016) classificam este setor do bairro como área de risco de ocorrência de alagamentos.

Recordando Marandola Jr. e Hogan (2005, p.105), a percepção do risco está relacionada “não apenas à forma como as pessoas enfrentam os problemas, mas como habitam o lugar e se relacionam entre si (indivíduos e coletividade) e com o ambiente”. Assim é que para Burton *et al.* (1978), além da percepção do risco, os ajustamentos aos perigos e os processos de escolha e de tomadas de decisão, nas diversas escalas, influenciam na maneira como as pessoas reagem a um perigo. A partir dessas concepções, para aquela que parecia ser a única discrepância entre

⁵² Figura 5.14 – B.

⁵³ Jornal Diário de Teófilo Otoni (<http://www.diariodeteofilootoni.com.br/?p=3487>).

os dados das corporações militares avaliados neste trabalho e a mídia local, encontra-se uma explicação plausível: as inundações ocorrem no bairro, mas a população da área provavelmente tenha aprendido a lidar com o fenômeno e, possivelmente, se prepara para a ocorrência dos alagamentos. Por esse motivo, apenas raramente demandam apoio externo à própria comunidade.

Ainda assim, não foram obtidas informações quantitativas que possibilitassem compreender as razões que levaram o poder público municipal a investir em uma lagoa de contenção no bairro vizinho, Ipiranga. Como não foi fornecido projeto do empreendimento, é inviável determinar o período em que a intervenção foi executada. Em função da inexistência da estrutura da barragem verificada em campo (Figura 5.17 – A) no extrato de imagem *Google Earth Pro* utilizado para elaboração da Figura 5.17, datada de primeiro de janeiro de 2014, é seguro apenas determinar que a obra foi executada após esta data.

Como as inundações ocorrem no Bairro Tabajaras e a barragem foi executada junto ao Bairro Ipiranga, utilizando-se de depressão no terreno que sugere existência de antigo corpo d'água (Figura 5.17), é plausível admitir que o objetivo é concentrar nesta barragem os fluxos de enxurrada que assolavam a rua principal do Bairro Tabajaras, direcionando-a por curso d'água canalizado ao Rio Todos os Santos, evitando alagamentos.



Figura 5.17 – Setores dos bairros Tabajaras e Ipiranga em imagem *Google Earth Pro*. No primeiro, à esquerda na figura, observar a rua principal em destaque, área foco dos alagamentos. À direita verifica-se a área onde hoje se situa uma barragem de contenção, possivelmente por suas características naturais, destinada a concentrar os fluxos e direcioná-los ao Rio Todos os Santos. Ver ainda, em A, parte cimeira da barragem, utilizada como via de acesso (círculo), e as vertentes elevadas e declivosas, com morfologia côncava (planta e perfil), que delimitam a microbacia.

Nesse contexto, (i) a existência de registros da imprensa local; (ii) de dados do Corpo de Bombeiros e Polícia Militar e (iii) a construção de uma barragem para contenção, (iv) além de informações de Lima e Ferraz (2016), podem ser entendidos como suficientes para determinar que o Bairro Tabajaras apresenta área suscetíveis a alagamentos, especialmente a Rua José Luiz Tanure, principal via do bairro (Figura 5.17).

Uma vez determinada a existência da suscetibilidade, interessa compreender os mecanismos que desencadeiam o fenômeno, bem como as perspectivas futuras. A avaliação das características geomorfológicas do local auxilia nessa tarefa, uma vez que a microbacia possui forma alveolar, sendo os interflúvios que a delimitam seguidos por vertentes de elevada declividade, algumas delas festonadas por reentrâncias, conforme Figura 5.17⁵⁴. Neste setor da cidade, a impermeabilização resultante da expansão urbana aumenta o volume do escoamento superficial (principalmente na vertente adjacente à margem direita do canal, porção esquerda da Figura 5.17), além de conferir a estes maior velocidade, fazendo com que, rapidamente, atinjam as feições mais baixas da bacia. Além disso, o fundo do vale foi também impermeabilizado e o curso d'água canalizado abaixo das ruas do vizinho Bairro Ipiranga. Uma delas, a principal via de circulação do bairro, registra os alagamentos que fatalmente afetam grande parte da área de várzea.

Isso significa que o contexto geomorfológico, muito semelhante ao observado junto aos bairros Olga Corrêa Prates e Dr. Laerte Laender, confere à área onde se expandiu o Bairro Tabajaras condicionantes naturais para ocorrência de alagamentos: são feições convergentes do relevo que formam microbacia alveolar – concentradora do escoamento superficial para o vale fluvial. Em contextos como esse, Reis *et al.* (2012) consideram que os vales encaixados (em V) em vertentes com altas declividades predispõem as águas a atingirem grandes velocidades em curto tempo, causando inundações bruscas e mais destrutivas. Este pano de fundo geomorfológico foi afetado e alterado pela ocupação dos bairros, alterações estas que podem ser entendidas como fatores desencadeantes para ocorrência de alagamentos, segundo concepção de Pedrosa e Pereira (2006).

Ainda que o contexto geomorfológico nas duas áreas seja similar, há no setor da cidade onde se formou o Bairro Tabajaras uma distinção no que diz respeito às perspectivas futuras. O que se verifica nos bairros Olga Corrêa Prates e Dr. Laerte Laender é a persistência do problema

⁵⁴ O contexto geomorfológico pode ser comparado ao dos bairros Olga Corrêa Prates e Dr. Laerte Laender por meio de comparação entre as figuras 5.14 e 5.17.

e a possibilidade de que se propague no tempo. Já em relação ao Bairro Tabajaras, por sua vez, é possível considerar que a barragem de contenção foi construída com o intuito de evitar ou minimizar alagamentos, sendo, assim, uma intervenção estrutural preventiva.

O último registro de alagamentos no bairro Tabajaras é do ano de 2014, não havendo mais dados referentes aos eventos nos anos posteriores à obra. É exatamente a ausência de dados que torna proibitivo afirmar que as intervenções no local resultaram na resolução dos alagamentos no bairro, mas a inexistência de registros destes fenômenos recentemente pode significar que, até o momento – e com as atuais configurações espaciais da área – o volume da bacia de contenção seja suficiente para minimizar a frequência e a intensidade dos alagamentos no Bairro Tabajaras.

5.5 – Proposta de mapeamento do risco a inundações e alagamentos na área urbana de Teófilo Otoni

Não é tarefa simples apresentar proposta de mapeamento do risco a inundações e alagamentos frente a limitações de informação a respeito das áreas de ocorrência e da frequência dos fenômenos. Exceção feita aos veículos de comunicação que abordam o tema, há escassos registros de inundações e alagamentos em Teófilo Otoni, os quais, quando existem, são pouco confiáveis. Cenários como esse foram ponderados por Jungles e Shadeck (2010), que discutem dificuldades técnicas, diversidade dos problemas, multidisciplinaridade envolvida e entraves comuns na obtenção de informações quando se trata do mapeamento de áreas de risco. Destacam que o mapeamento de risco é uma atividade que demanda recursos, os quais raramente são disponibilizados pelo Poder Público por não reconhecer a importância da informação para a gestão do município.

A mais importante entrada de dados utilizada neste trabalho é o banco de dados da Polícia Militar e do Corpo de Bombeiros, que por um lado fornece elementos confiáveis, por outro é temporalmente restrito (2011 a 2015), apresentadas no Quadro 5.2.

Estes dados foram assim tabulados levando em conta dois critérios que revelam a vulnerabilidade a inundações e alagamentos na cidade de Teófilo Otoni, a saber: (i) total de ocorrências na série e (ii) recorrência do fenômeno avaliado (Quadro 5.2). As informações foram espacializadas por meio de mapa dos bairros de Teófilo Otoni. Uma vez que na maior parte dos casos toda a extensão de um bairro não se configure área suscetível a inundações ou

alagamentos, em razão de sua heterogeneidade geomorfológica, apenas as feições que correspondem às áreas inundáveis foram consideradas, resultando no mapa de risco a inundações e alagamentos na área urbana de Teófilo Otoni (Figura 5.18).

Quadro 5.2 – Risco de inundação e alagamento em Teófilo Otoni, segundo Corpo de Bombeiros e Polícia Militar. Estão assinalados com asteriscos os bairros para os quais foram registradas mais de uma ocorrência para salvamento durante inundações e alagamentos ao longo da série histórica 2011 a 2015.

BAIRROS	OPERAÇÕES DE SALVAMENTO (INUNDAÇÕES)	GRADAÇÃO DO RISCO
Castro Pires	1	Baixo
Cidade Nova	1	
Concórdia	1	
Esperança	1	
Frei Dimas	1	
Grão Pará	1	
Lourival Soares Da Costa	1	
Marajoara	1	
Matinha	1	
Mucuri	1	
Novo Horizonte	1	
Palmeiras	1	
São Cristóvão	1	
Solidariedade	1	
Turma 37	1	
Jardim Floresta	2	
Jardim Iracema	2	
Jardim São Paulo	2	
Manoel Pimenta	2	
Joaquim Pedrosa*	3	Médio
Bela Vista	4	
São Jacinto	4	
Vila São João	13	Alto
BAIRROS	OPERAÇÕES DE SALVAMENTO (ALAGAMENTOS)	GRADAÇÃO DO RISCO
Tabajaras	1	Baixo
Dr. Laerte Laender*	4	Alto
Olga Correia Prates*	4	

Para tanto, considerou-se como áreas de baixo risco a inundações e alagamentos os bairros que apresentam uma ou duas operações para salvamento durante os eventos. No caso de duas diligências, este critério se manteria válido desde que estas tenham ocorrido em um mesmo evento, pois duas diligências em anos diferentes significariam recorrência do fenômeno. Vale ressaltar que as áreas que registraram recorrência de inundações ou alagamentos (ocorrências em anos distintos) não apresentaram apenas uma ou duas operações para

salvamento durante os eventos críticos, como as aqui compreendidas como baixo risco a inundações.

O bairro Joaquim Pedrosa, com um total de três ocorrências, e os bairros Bela Vista e São Jacinto, com quatro registros, foram considerados como áreas de médio risco de inundações, especialmente porque, em todos eles, os registros se relacionam a mais de um ano no período analisado, indicando recorrência do fenômeno – ao contrário daquelas anteriormente discutidas.

O bairro Vila São João, com um total de 13 ocorrências, foi classificado como de alto risco de inundações, uma vez que o esforço demandado pelo Corpo de Bombeiros e Polícia Militar, no ano de 2012, demonstra a gravidade do evento. Por apresentar recorrência em todos os anos da série histórica, o bairro Olga Correa Prates é considerado como de alto risco a alagamentos (Quadro 5.2).

Essas informações permitem avaliar a exposição das populações de distintos setores de Teófilo Otoni à ocorrência de inundações e alagamentos. Mesmo que se referindo a um período relativamente curto, percebe-se não apenas a recorrência dos fenômenos, mas a distribuição espacial das suas ocorrências, possibilitando a compreensão e mapeamento do risco a inundações e alagamentos na cidade. Assim sendo, estes dados foram transferidos ao mapeamento das planícies de inundação, uma vez que este retrata os setores dos bairros em que o caudal que transborda durante os eventos pode atingir, causando danos às pessoas residentes nas planícies fluviais edificadas. Resultou deste esforço o mapa de risco a inundações e alagamentos de Teófilo Otoni (Figura 5.18), elaborado em consonância com o banco de dados do Corpo de Bombeiros e Polícia Militar.

Em um cenário adverso, o mapeamento proposto oferece uma espacialização de dados, aos quais se atribuiu um critério para gradar o risco, em função do número de ocorrências e recorrência dos fenômenos, conforme demanda das populações afetadas pelo fenômeno (vulnerabilidade). Não se conhece resultados com semelhante amplitude anteriores a este para a área investigada, mesmo se baseados e elaborados com critérios diferentes dos utilizados neste trabalho. Mesmo por isso, deve ser interpretado como um esforço inicial, um mapeamento de alerta – conforme entende Tucci (2005) – ou uma proposta de definição das áreas de risco de ocorrência dos fenômenos, semelhante ao que foi sugerido por Hora e Gomes (2009).

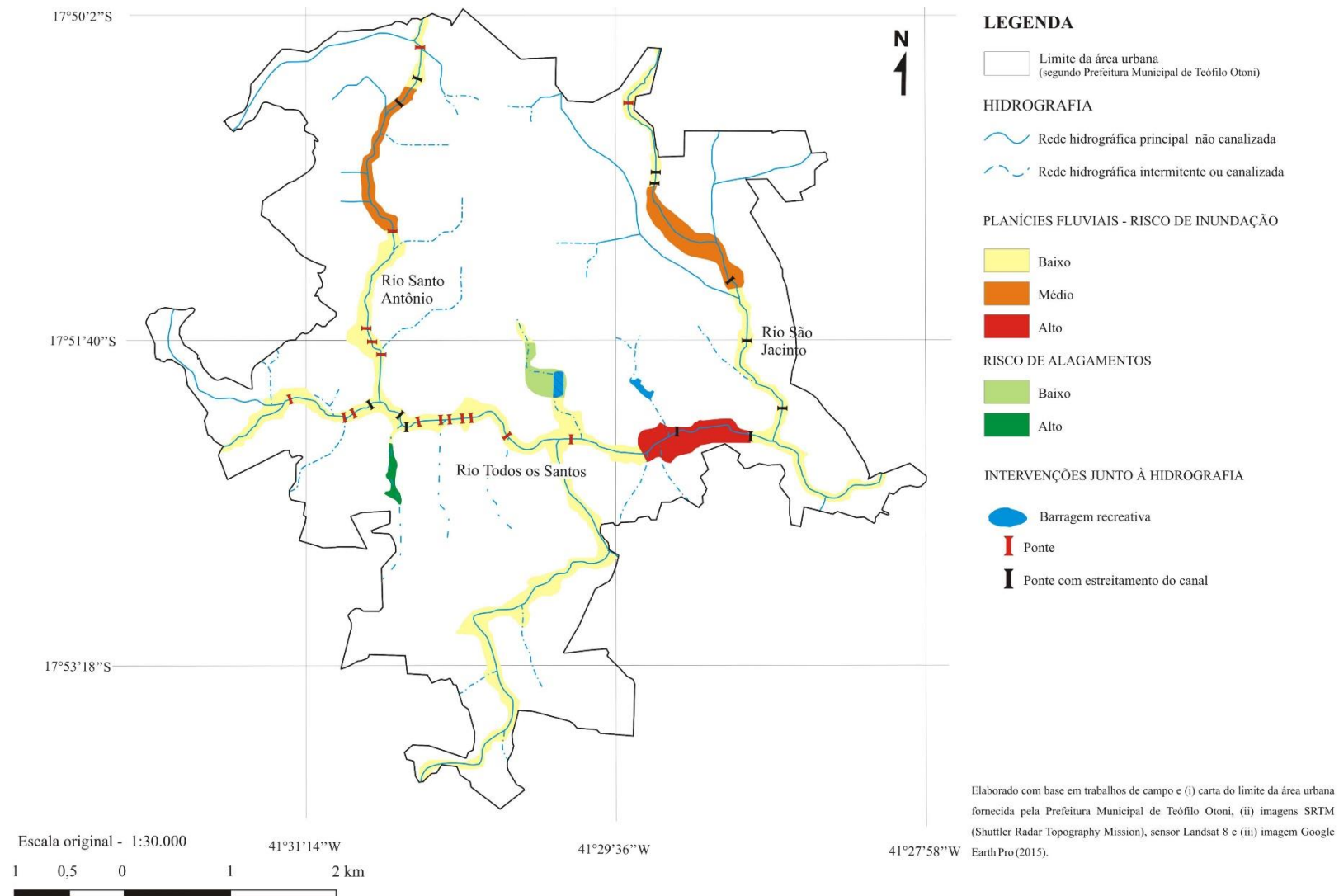


Figura 5.18 – Mapa de risco a inundações e alagamentos na área urbana de Teófilo Otoni.

Cabe ressaltar que os critérios levados em consideração, embora configurem limitada série histórica, são entendidos como confiáveis (em razão da sua procedência) e podem apresentar um panorama das áreas nas quais inundações e alagamentos efetivamente ocorrem. Além disso, estas informações também revelam a distribuição e espacialização das vítimas dos fenômenos, tanto no tempo quanto no espaço, razão pela qual são compreendidos como a principal entrada de informações para o mapeamento proposto.

Uma questão permanece, a respeito da interpretação do risco a inundações de trecho do médio curso do Rio São Jacinto na cidade de Teófilo Otoni⁵⁵, e diz respeito a compreender os motivos pelos quais esta área apresenta significativo número de diligências dos órgãos de segurança pública durante inundações, se comparado com as demais seções da várzea do rio. O Rio São Jacinto é um curso d'água de pequena extensão e volume, sendo a maior parte do seu curso compreendido como baixa suscetibilidade a inundações. Neste setor específico, junto ao bairro homônimo, residências foram edificadas a poucos metros do canal (Figura 5.19 – A) ou, em sentido literal, no leito ou acima dele (Figura 5.19, em A e B).



Figura 5.19 – Aspecto do leito do Rio São Jacinto. Note as passarelas rudimentares de madeira que ligam a rua às residências ou a casa construída sobre o canal (A) e a canalização precária, parcialmente entulhada por sedimentos e lixo (B).

A existência do risco demanda ocupação humana, visto que o conceito de risco adotado neste trabalho aborda a possibilidade de ocorrência de um fenômeno que representa perigo em áreas ocupadas pelo homem. Nas condições deste trecho das margens do Rio São Jacinto, eventos pluviométricos acima dos parâmetros médios fatalmente caracterizam a materialização do risco (desastre), pois, não havendo possibilidade de escoar o fluxo, a elevação do nível do rio causa danos à propriedade ou mesmo a vida nesta área. A realidade verificada, neste setor

⁵⁵ Figura 5.18.

da área investigada, é de elevadas fragilidade e vulnerabilidade⁵⁶ social, uma vez que as pessoas convivem com o risco às suas portas, logo abaixo das suas camas ou são impedidas de sair ou entrar em suas casas, caso o rio transborde.

Herrmann (1998b) considera que áreas suscetíveis a inundações são aquelas em que os eventos climáticos (episódios pluviais concentrados) estão associados a um forte componente antropogênico, uma vez que a ocupação, ao interferir na natureza de maneira indevida, acentua a probabilidade e as consequências dos danos causados por episódios fluviais. Para a autora, tais eventos podem trazer consequências de caráter ambiental, social e econômico. Ao se avaliar as inundações e alagamentos em Teófilo Otoni, verifica-se que a ocorrência destes fenômenos é induzida pelo histórico de ocupação na cidade. Nesse caso, acrescenta-se, com destaque, o componente político, embutido no antropogênico aludido pela autora, também presente no que se retrata com as figuras 5.18 e 5.19, dentre outras.

O que se observou na cidade, frente aos alagamentos e inundações, é que estes fenômenos em Teófilo Otoni, como em muitas cidades brasileiras, resultam da associação de pluviosidade concentrada, em área cujo relevo favorece a concentração e rápido escoamento dos fluxos superficiais, acelerados e ampliados pela impermeabilização do solo, em direção aos cursos d'água. Esses são, portanto, os principais condicionantes e desencadeantes dos fenômenos na área investigada. Ao atingir os cursos d'água, a vazão destes se eleva rapidamente e o excedente hídrico destes canais – os quais sofreram intervenções que, na maioria das vezes, apenas removem os problemas de um lugar para instalar em outro – afeta áreas específicas da cidade, gerando danos às populações residentes nestes locais. Não obstante, em geral, se preservam os bairros em que residem populações de alta renda em detrimento daqueles ocupados por moradores à margem do processo produtivo do espaço.

Neste, como em outros casos, em última análise, ações ou inoperância do Poder Público Municipal fazem com que este se torne, também, determinante para ocorrência de inundações e alagamentos, uma vez que as intervenções, quando ocorrem, geralmente contribuem para agravar ou apenas realocar o problema. Seja por negligência ou incapacidade técnica, o modelo de ocupação caótico, desordenado e irracional do espaço na cidade é elemento que, no mínimo, agrava a ocorrência de inundações e alagamentos. Relembrando Herrmann (1998b), é factível assumir que, em alguma medida, na área urbana de Teófilo Otoni, o Poder Público é responsável por danos causados por inundações e alagamentos.

⁵⁶ Vulnerabilidade entendida como processo interno a um sistema, ou seja, a suscetibilidade de indivíduos ou comunidades de sofrer danos e prejuízos em eventos de desastres (CARDONA ARBOLEDA, 2001).

CAPÍTULO 6

ESCORREGAMENTOS NA ÁREA URBANA E PERIURBANA DE TEÓFILO OTONI: UMA ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA

Movimentos gravitacionais de massa são fenômenos que afetam populações urbanas em várias áreas do planeta, sendo frequentemente destacados como causadores de danos a bens materiais e à vida. Por essa razão, entre outras, trabalhos que visam reconhecer os condicionantes de escorregamentos ou áreas suscetíveis à sua ocorrência geram um acervo de informações que permitem entender sua dinâmica por meio da compreensão dos mecanismos desencadeadores dos desastres (KOBAYAMA *et al.*, 2006). Para Fernandes *et al.* (2001) muitos destes trabalhos visam a definição de áreas críticas (suscetíveis) a escorregamentos ou a caracterização do risco envolvido (vulnerabilidade), esses últimos englobando tanto a possibilidade de ocorrência quanto os danos eventualmente decorrentes. A respeito dos centros urbanos, acrescentam que, nestes cenários,

(...) os deslizamentos assumem frequentemente proporções catastróficas, uma vez que os inúmeros cortes, aterros, depósitos de lixo, desmatamentos, modificações na drenagem, entre outras agressões, geram novas relações com os fatores condicionantes naturais associados à geomorfologia e à geologia (FERNANDES *et al.*, 2001, p.52).

Nessa mesma linha de raciocínio, para Bertone e Mariano (2013), a alteração da paisagem no espaço urbano provoca perturbações no equilíbrio dos sistemas naturais, resultando em situações que podem implicar na ocorrência de desastres. É neste contexto que se inserem as análises aqui propostas, uma vez que a malha urbana de Teófilo Otoni se desenvolveu de modo desordenado sobre relevo que exhibe “elevadas declividades e amplitudes topográficas”, em movimentos de expansão do tecido urbano que ainda se direcionam para o “interior de reentrâncias e anfiteatros”, áreas que têm potencial para conferir risco à ocupação civil (FERRAZ *et al.*, 2016a, p.8).

Por tais motivos, o escopo deste capítulo é avaliar a localização espacial das áreas suscetíveis a escorregamentos em Teófilo Otoni, bem como os condicionantes para a ocorrência do fenômeno, possibilitando um primeiro reconhecimento da exposição das populações ao fenômeno na cidade, em especial daquelas que residem nas principais áreas de expansão do tecido urbano.

6.1 – A suscetibilidade a escorregamentos na área investigada

Em relação à área investigada, alguns esforços que focam a análise dos riscos de escorregamentos na mancha urbana Teófilo Otoni, ainda que fragmentados no espaço e desconexos entre si, permitem reconhecer que o fenômeno requer atenção, seja pela possibilidade de sua ocorrência ou em função da interferência antrópica como elemento indutor do fenômeno. Gonçalves *et al.* (2014) apresentaram avaliação dos perigos associados à implementação de loteamento em feições caracterizadas por encostas declivosas, em resposta à demanda por novas áreas para produção do espaço urbano. Os autores observaram que as obras do empreendimento promoveram cortes de taludes com declividades superiores a 60°, atribuindo ao Poder Público Municipal responsabilidade pela ocorrência de movimentação de massa nas encostas instabilizadas (GONÇALVES *et al.*, 2014, p. 317). De modo semelhante, Barroso *et al.* (2016) avaliaram escorregamento no interior da mancha urbana de Teófilo Otoni, induzido por corte irregular de talude, ausência de drenagem urbana e inexistência de estruturas de contenção. Atestaram a interferência da ocupação não planejada como fator desencadeante de evento ocorrido na área avaliada.

Ferraz *et al.* (2016a) apresentaram exame geomorfológico preliminar focado em Teófilo Otoni, no qual avaliaram as relações entre a geomorfologia e o histórico do crescimento urbano. Embora não tenham se aprofundado em análises das causas e efeitos do modelo de expansão da cidade sobre formas de relevo inadequadas à ocupação, concluíram que o crescimento da área ocupada tem ocorrido em porções restritivas ou impeditivas, em resposta à carência de planejamento urbano e ambiental no município. Posteriormente, Ferraz *et al.* (2017) reconstituíram o crescimento da mancha urbana da cidade nas últimas quatro décadas, verificando que alguns dos atuais eixos de expansão se prolongam para áreas consideradas inadequadas para a ocupação civil, a exemplo de planícies fluviais e do interior de concavidades do relevo.

Ainda a respeito da ocorrência de escorregamentos em Teófilo Otoni, merece destaque estudo produzido pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM⁵⁷, o qual visou “redução geral das perdas humanas e materiais” por meio de “diagnóstico e mapeamento das áreas com potencial de risco alto a muito alto”, referindo-se à identificação de áreas de possível ocorrência de movimentos gravitacionais de massa e inundações (PARISI e PINHO, 2012, p.2). Utilizando metodologia de avaliação de risco baseada em “indícios e evidências” em campo, a partir da verificação de “trincas em muros e paredes, depressão de pavimentos, voçorocas, areia lavada em canalizações abertas, inclinação e tombamento de obras, embarrigamento de muros de contenção, descalçamento de fundações”, dentre outros aspectos, o relatório aponta para a existência de sete áreas suscetíveis à ocorrência de “deslizamento planar” (PARISI e PINHO, 2012, p. 3), conforme Quadro 6.1.

Quadro 6.1 – Bairros que apresentam áreas suscetíveis a deslizamentos planares em Teófilo Otoni, segundo PARISI e PINHO (2012).

LOCAL	TIPOLOGIA
Altino Barbosa	Deslizamento Planar
Belvedere	Deslizamento Planar
Corredor Gazzinelli	Deslizamento Planar
Frei Dimas	Deslizamento Planar
Vila Pedrosa	Deslizamento Planar
Bela Vista	Deslizamento Planar
Viriato	Deslizamento Planar
Manoel Pimenta – Eucalipto	Deslizamento Planar

No relatório, os autores apontam a falta de estrutura básica (saneamento, drenagem de águas pluviais, regulamentação de uso ou ocupação) nas encostas analisadas em campo como “um dos principais componentes de agravamento da instabilidade” (PARISI e PINHO, 2012, p.4). Destacaram ainda (i) a inexistência de sistema de alerta para as populações em eventos críticos e (ii) a necessidade de obras de retaludamento em cortes sobre solos estáveis e revegetação de encostas” (PARISI e PINHO, 2012, p.4).

Todos estes trabalhos, em primeira análise, atribuem às alterações promovidas pela urbanização ação condicionante do risco, ao mesmo tempo que indicam a formação do tecido urbano como modificador da dinâmica natural de áreas consideradas suscetíveis a escorregamentos. Ainda que focados em pontos específicos da cidade, as análises apontam para a iminência ou ocorrência de escorregamentos, em cenário caracterizado também pela carência

⁵⁷ Documento denominado Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes e Movimentos de Massa Teófilo Otoni – Minas Gerais.

de registros acerca de eventos pretéritos, justificando apreciação mais refinada a respeito do tema em tela.

6.1.1 – Evidências de escorregamentos na área investigada: considerações sobre localização e tipologia

A despeito das características climáticas e geomorfológicas da área investigada, notadamente a precipitação concentrada e a declividade do relevo, reconhecidas na literatura como propícias à ocorrência de escorregamentos (FERNANDES e AMARAL, 1996; BRANDÃO, 1997; VIEIRA *et al.*, 1997; GUIMARÃES *et al.*, 1999; GUIMARÃES, 2000; BUSTAMANTE, 2010), acervo que permita estabelecer um histórico ou identificar áreas de ocorrência do fenômeno em Teófilo Otoni é inconsistente ou pouco sistematizado. Sequer a Defesa Civil do município pôde apresentar, quando formalmente solicitada, mapeamento ou histórico confiáveis da ocorrência de escorregamentos na cidade. Até mesmo o banco de dados do Corpo de Bombeiros e da Polícia Militar, utilizado para avaliação de inundações e alagamentos, mostrou-se impreciso na identificação de escorregamentos. As informações disponíveis se limitaram quase sempre a manchetes que noticiam “deslizamentos de terra”, muitas vezes confundidos com desabamentos de residências ou colapso de estruturas em obras inacabadas de construção civil.

Dessa forma, imagens históricas de satélite, obtidas com auxílio do programa *Google Earth Pro*, revestiram-se de fundamental importância, por configurarem fontes fidedignas de dados que permitem contextualizar, no tempo e no espaço, a ocorrência de escorregamentos na área investigada. Foram utilizadas as imagens dos anos de 2002, 2006, 2010, 2013, 2014, 2016 e 2018, uma vez que aquelas de anos anteriores apresentam baixa resolução e qualidade insatisfatória para a localização de cicatrizes de escorregamentos, ou ainda ocorrência de significativa nebulosidade. Especificamente na imagem de agosto de 2002, testemunhos de escorregamentos podem ser verificadas, alguns deles merecedores de destaque, em função da sua visualização nítida, conforme Figura 6.1.

É importante ressaltar que, apesar da baixa resolução de algumas imagens obtidas, não foram verificadas cicatrizes de escorregamentos naquelas anteriores a 2002. Além disso, em fevereiro desse mesmo ano ocorreu evento que acumulou 246mm de precipitação pluviométrica⁵⁸ em período inferior a 24 horas, resultando em “70 desabamentos de casas e

⁵⁸ Ver distribuição temporal dos eventos pluviométricos extremos, identificados na série histórica de dados climáticos avaliada no capítulo anterior (Tabela 5.1).

vários deslizamentos”⁵⁹. Este evento pode ser considerado como elemento deflagrador dos escorregamentos ocorridos em 2002, visto que episódio de precipitação igual ou superior a 100mm em 24 horas anterior a este somente deve ter acontecido no ano de 1981, sendo inviável atribuir tais cicatrizes a tão longínqua precipitação, ainda que escorregamentos também possam ser correlacionáveis a precipitação acumulada ao longo de períodos de maior duração, muitas vezes resultantes de pluviosidade ocorrida em dias consecutivos, durante estação chuvosa (ARAKI, 2007; SOUZA *et al.*, 2012; MOLINA *et al.*, 2015).

Em outras palavras, pode-se considerar que os escorregamentos verificáveis na imagem do ano de 2002 foram deflagrados pelo evento pluviométrico extremo ocorrido naquele ano, levando em conta que escorregamentos geralmente têm como fator desencadeante grande volume de chuvas (GUIDICINI e IWASA, 1976; VARGAS Jr. *et al.*, 1986; KEEFER *et al.*, 1987; FERNANDES *et al.*, 1994; FERNANDES *et al.*, 2001; TOMINAGA *et al.*, 2009).

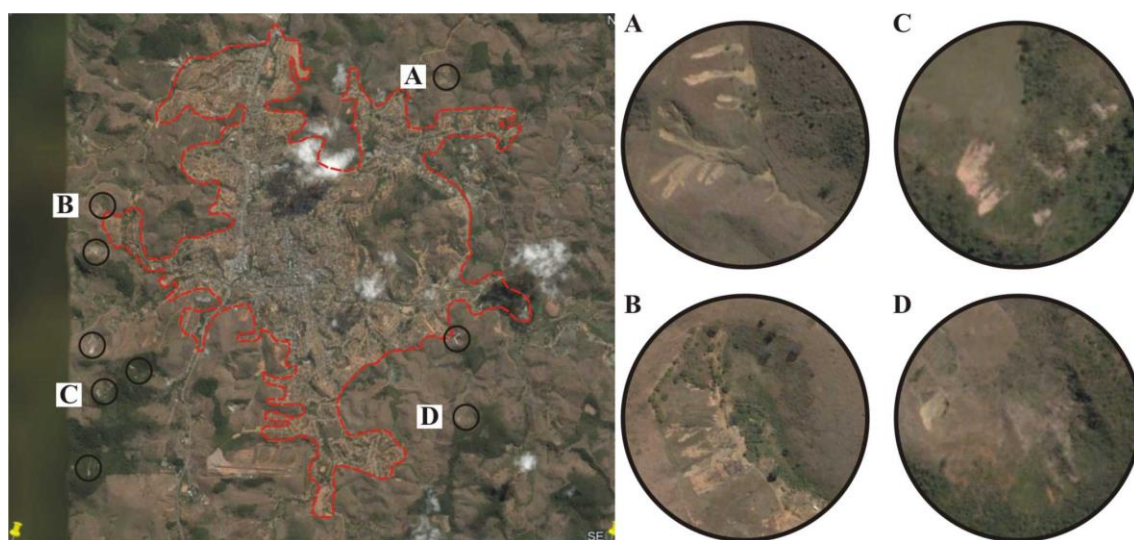
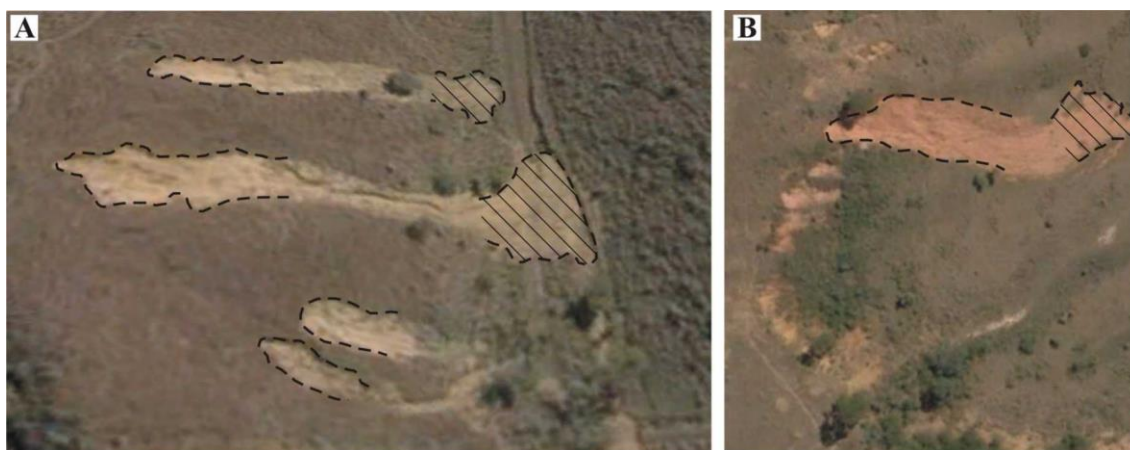


Figura 6.1 – Imagem *Google Earth Pro*, de agosto de 2002, da zona urbana e periurbana de Teófilo Otoni (MG). As áreas indicadas com círculos são aquelas em que melhor se identificam evidências de movimentação de materiais das vertentes, com destaque para setores a nordeste da cidade (A), eixos de crescimento urbano a noroeste (B) e sudoeste (C) e sudeste (D) de Teófilo Otoni. A distribuição espacial dos escorregamentos é relativamente homogênea, embora sua ocorrência seja verificável para além do tecido urbano ou nos limites da cidade (B), delimitados pela linha tracejada em vermelho.

É também razoável admitir que não houve recorrência de escorregamentos, a julgar pela ausência de feições semelhantes nas imagens do período correspondido entre 2006 e 2018. As evidências dos escorregamentos, atribuídos ao ano de 2002 (figuras 6.1 e 6.2),

⁵⁹ Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u45312.shtml>

progressivamente se tornaram pouco perceptíveis na paisagem, quer pelo crescimento da vegetação, quer pelo avanço da degradação e exposição dos solos. Mesmo em campo, a identificação dessas cicatrizes é hoje tarefa difícil, considerando as modificações na cobertura, uso e ocupação do solo e o aprofundamento de sulcos erosivos, que eventualmente descaracterizam as superfícies de ruptura e depósitos de massas movimentadas. No entanto, algumas dessas cicatrizes são identificáveis nas imagens com razoável definição, sendo possível verificar tais feições, conforme Figura 6.2. Há encostas em que é possível diferenciar os elementos morfológicos destes testemunhos de escorregamentos, especialmente as cicatrizes principais e as áreas de acumulação⁶⁰ (Figura 6.2 A e B).



--- Cicatriz principal ▨ Área de acumulação

Figura 6.2 – Áreas afetadas por movimentos gravitacionais de massa em 2002, localizadas a nordeste (A) e sudoeste (B) da cidade de Teófilo Otoni. Nessas imagens é possível identificar, nas cicatrizes de escorregamento, alguns elementos morfológicos que os caracterizam, ainda que os planos de ruptura não estejam satisfatoriamente perceptíveis. É possível notar ainda que as feições são mais longas – no sentido montante da cicatriz principal à área de acumulação – do que largas – distância entre as bordas laterais. Imagem *Google Earth Pro*.

Apenas pelas imagens de satélite, mesmo com satisfatória resolução, torna-se difícil tipificar o fenômeno que origina as cicatrizes verificadas nas figuras 6.1 e 6.2, fenômeno este que não se repetiu por período de tempo superior a uma década e meia, podendo ser entendido como movimento abandonado ou reliquiar⁶¹. Escorregamentos, em função de sua dinâmica, se

⁶⁰ Cicatriz principal é “superfície inclinada ou vertical, frequentemente côncava, que limita o movimento de vertente na sua parte superior”, enquanto define área de acumulação como “área do movimento de vertente em que o material deslocado se encontra acima da superfície topográfica original (ZÊZERE, 2005, p.49-50).

⁶¹ Zêzere (2005, p.48) entende que os movimentos gravitacionais de massa podem ser distinguidos como ativos e inativos. Os primeiros são “aqueles que se apresentam em atividade atualmente”, ao passo que os últimos podem ser entendidos como aqueles que “não sofreram deslocamentos no último ciclo estacional”. Dentre estes, os

caracterizem pelo movimento gravitacional de material terrígeno descendente e para fora da encosta (CROZIER, 1986) e exibem planos de ruptura bem definidos, permitindo a diferenciação entre o material deslizado e aquele que não se movimentou, configurando feições mais longas do que largas (FERNANDES e AMARAL, 1996). Mesmo que na maior parte das áreas afetadas em 2002 não seja possível identificar com clareza – no presente – as cicatrizes dos escorregamentos, naquela situada a nordeste de Teófilo Otoni (Figura 6.2 – A) estão bem preservadas cabeceiras e flancos, enquanto os planos de ruptura foram parcialmente afetados pela exposição aos elementos e fatores climáticos, além do pisoteio de animais⁶² (Figura 6.3).

Recorrendo novamente a Fernandes e Amaral (1996), os escorregamentos translacionais rasos são a forma mais frequente entre os movimentos de massa e possuem superfície de ruptura de forma planar, em geral compridos e rasos. Nesses movimentos, “o plano de ruptura encontra-se, na grande maioria das vezes, em profundidades que variam entre 0,5 e 5m” (FERNANDES e AMARAL, 1996, p. 139). Essa tipificação é compatível com as cicatrizes de escorregamento avaliadas em campo, especialmente no que diz respeito à presença de descontinuidade entre materiais terrígenos alterados e substrato rochoso, em geral não mais profunda que 80 cm (Figura 6.3 – D). Durante evento de elevado montante pluviométrico, o contato lítico, nesse caso verificado, pode ter assumido comportamento de descontinuidade de natureza hidráulica, a julgar pelas diferenças de porosidade verificadas em campo – porções superficiais porosas sobre rocha pouco permeável. Além disso, as características morfológicas das áreas avaliadas em campo revelam que essas superfícies apresentam morfologia planar (Figura 6.3, C e D), com maiores extensões no sentido da declividade (comprimento), se comparadas às distâncias entre seus flancos.

Isso posto e considerando as modificações das áreas afetadas pelos escorregamentos ocorridas entre 2002 e o presente, as quais inegavelmente oferecem limitações à precisão da avaliação, parece razoável assumir que os eventos daquele ano se trataram de escorregamentos translacionais rasos.

movimentos abandonados “já não são afetados pelas causas que os originaram”, ao passo que os movimentos de relíquia são “verificados sob condições ambientais diferentes das atuais”.

⁶² Para Zêzere (2005) cabeceira é a área adjacente à parte superior da cicatriz principal, geralmente não afetada pelo movimento, enquanto o flanco é o limite lateral do movimento de vertente, podendo ser descrito como direito ou esquerdo. Já a superfície de deslizamento é aquela ao longo da qual ocorre o movimento tangencial do material deslocado.

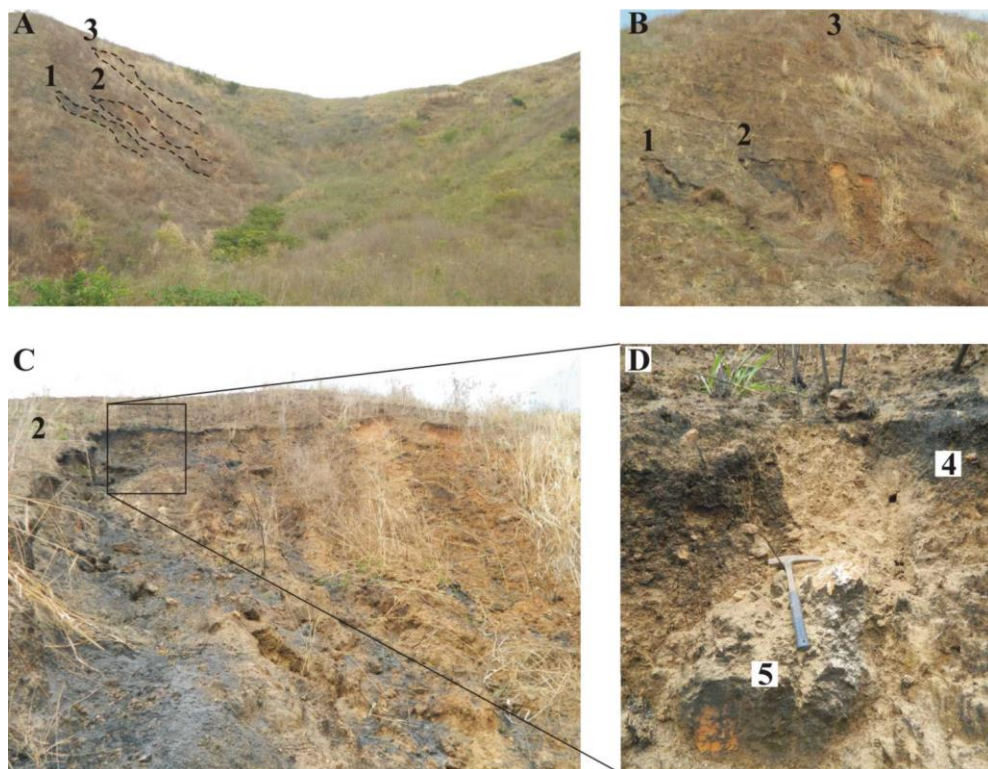


Figura 6.3 – Cicatrizes de escorregamento avaliadas em campo, a nordeste da cidade de Teófilo Otoni. É possível verificar, nos terços médio e superior da vertente, três dessas feições, cujas cabeceiras e flancos foram delimitados pelas linhas tracejadas (A). Uma aproximação permite melhor visualização dessas cicatrizes, as quais exibem clara distinção para com as porções não movimentadas da vertente (B). Naquela que se apresenta mais bem preservada, de número 2 – especialmente em C –, observa-se a cicatriz principal em plano central, mesmo que esta tenha suas bordas (flancos) festonadas por erosão posterior ao escorregamento. A superfície de ruptura, recoberta por detritos, vegetação parcialmente decomposta e pisoteada por animais, neste caso ocorreu no contato entre material terrígeno com presença de cascalhos subangulares (D – 4) e a rocha (D – 5), em profundidade verificada em campo de 82 cm.

6.1.2 – Ponderações sobre aspectos geomorfológicos associados aos escorregamentos

As nove cicatrizes de escorregamentos selecionadas como mais representativas da área investigada estão localizadas além dos limites do tecido urbano de Teófilo Otoni (figura 6.1 e 6.4). Esse fato instiga reflexão, visto que em grande número de trabalhos a urbanização é considerada como agravante ou mesmo condicionante para a ocorrência de escorregamentos (DREW, 1983; RENEAU e DIETRICH, 1987; MONTGOMERY e DIETRICH, 1994; CERRI, 2006; SANTANA e LISTO, 2018, dentre outros). Considerando-se, além da mancha urbana, e avaliando a morfologia das áreas que exibem cicatrizes de escorregamentos, nota-se que estas ocorrem, em maioria, nas unidades de relevo caracterizadas por mais elevadas altitudes, declividades acentuadas ou maior grau de dissecação fluvial (Figura 6.4), indicando influência do relevo na deflagração de escorregamentos.

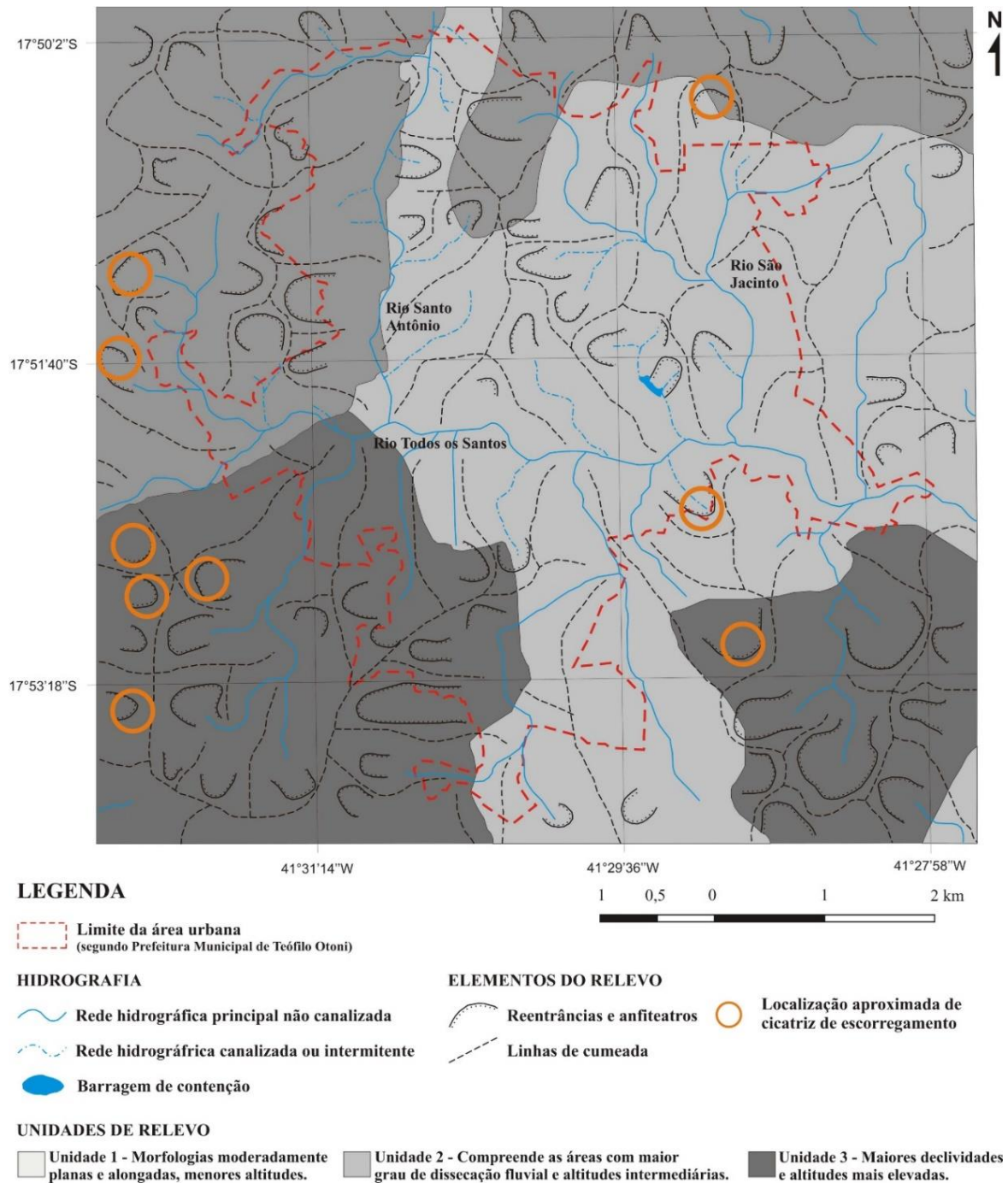


Figura 6.4 – Localização aproximada das principais cicatrizes de escorregamento com relação às reentrâncias do terreno e unidades de relevo da área investigada.

Entre estes testemunhos de escorregamentos pretéritos, apenas um ocorre nas morfologias moderadamente planas e alongadas e altitudes moderadas, outra no limite entre duas unidades distintas, ao passo que todas as cicatrizes estão inseridas no interior das reentrâncias que tão bem caracterizam o modelado da área investigada, conforme se pode observar na Figura 6.4.

Com base nisso, admite-se que o comportamento hidrodinâmico dessas reentrâncias exerça significativo papel para os escorregamentos sucedidos na área investigada, visto que

todas as suas cicatrizes se localizam em feições cuja curvatura horizontal é convergente. O mesmo não se pode afirmar a respeito da curvatura vertical das rampas das vertentes em que ocorreram escorregamentos, pois suas cicatrizes foram verificadas em encostas retilíneas, côncavas e convexas (Figura 6.5).

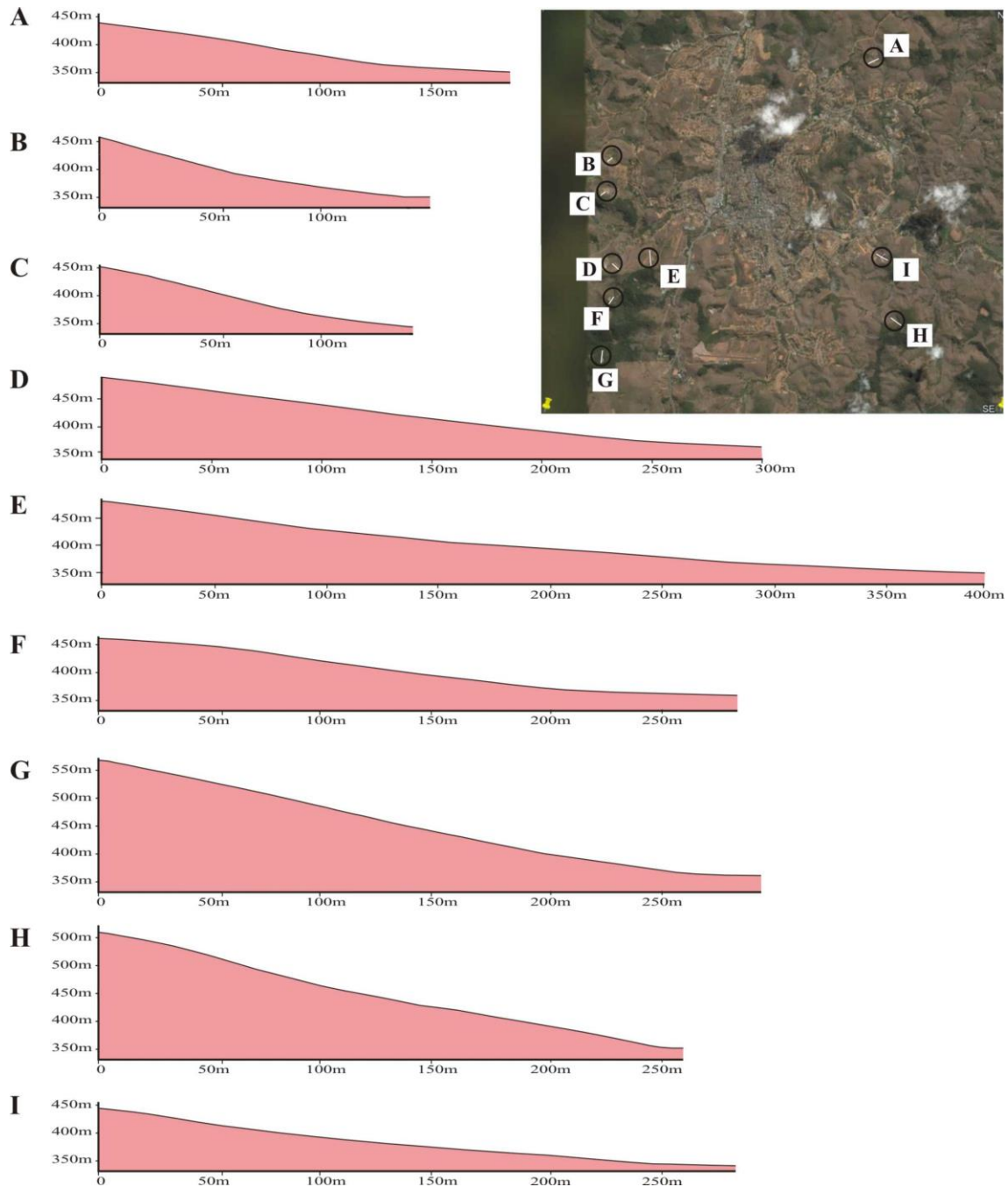


Figura 6.5 – Morfologia em perfil das encostas afetadas por escorregamentos na área investigada. A maior parte delas apresenta vertentes com setores das suas rampas preferencialmente côncavos (em B, E, H e I), assim como há predominantemente convexas (casos de A, D e F), e retilíneas (C e G). As altitudes máximas dessas áreas são variáveis, ocorrendo entre 400m (em A) e 540 m (em H), bem como os comprimentos das rampas, que medem de 125 m (B e C) até 300m (D). Imagem Google Earth Pro.

Para Tatizana *et al.* (1987), Wolle e Carvalho (1989) e Lopes (2006), que avaliaram um dos setores paulistas da Serra do Mar, a maior parte das cicatrizes de escorregamentos se concentrava nas rampas com formas retilíneas, ao passo que para Pinto (2002), taludes convexos são menos estáveis do que os côncavos, uma vez que apresentam maior massa (peso de material) disponível para escorregamento e consequente aumento das tensões cisalhantes.

Por outro lado, Zaidan e Fernandes (2009), aplicando modelo matemático para previsão de escorregamentos, entenderam que vertentes côncavas em perfil apresentaram maior suscetibilidade ao fenômeno, entendimento semelhante ao de Marés Mikosik *et al.* (2010), que verificaram prevalência de escorregamentos em vertentes com perfil côncavo na região de Morretes, no Paraná.

Essa significativa abrangência de opiniões se alinha com o que se observa na área investigada: a morfologia convergente em planta é fator comum em todas as áreas que registram cicatrizes de escorregamento, mesmo que haja diversidade no que se refere à forma em perfil de setores das rampas das vertentes.

As cicatrizes de escorregamentos foram ainda avaliadas com relação às classes de declividade da área investigada, uma vez que este constitui parâmetro geomorfológico compreendido como fundamental na análise de escorregamentos (FERNANDES *et al.*, 2001; CERRI, 2006; BRASIL, 2007; RODRIGUES e LISTO, 2016; SANTANA e LISTO, 2018). A declividade das vertentes que exibem cicatrizes de escorregamentos parece ter exercido papel preponderante para a deflagração dos fenômenos, já que todas as cicatrizes ocorrem em encostas com angulações superiores a 22° (Figura 6.6). Isso indica que tanto as curvaturas horizontais quanto a declividade das vertentes configuram condicionantes para a ocorrência dos escorregamentos na área investigada.

Tal convergência de fatores pode explicar por que razão uma das áreas em que se registra ocorrência pretérita de escorregamentos se localize no limite entre unidade de relevo menos declivosa e aquela em que se verifica maior grau de dissecação fluvial na área investigada, especificamente, à nordeste do tecido urbano de Teófilo Otoni – entre as unidades de relevo 1 e 2, conforme Figura 6.4. Essa reentrância, mesmo localizada em unidade de relevo caracterizada por menores declividades, possui rampa com inclinação de sua superfície superior a 22° (Figura 6.6). O mesmo pode ser aplicado àquela área no interior da unidade de relevo mais rebaixada (unidade de relevo 1, Figura 6.4), localizada a sudeste de Teófilo Otoni, próxima à margem direita do Rio Todos os Santos (figuras 6.4 e 6.6), pois esta vertente também exhibe seções da sua encosta com inclinação igual ou superior a 22°.

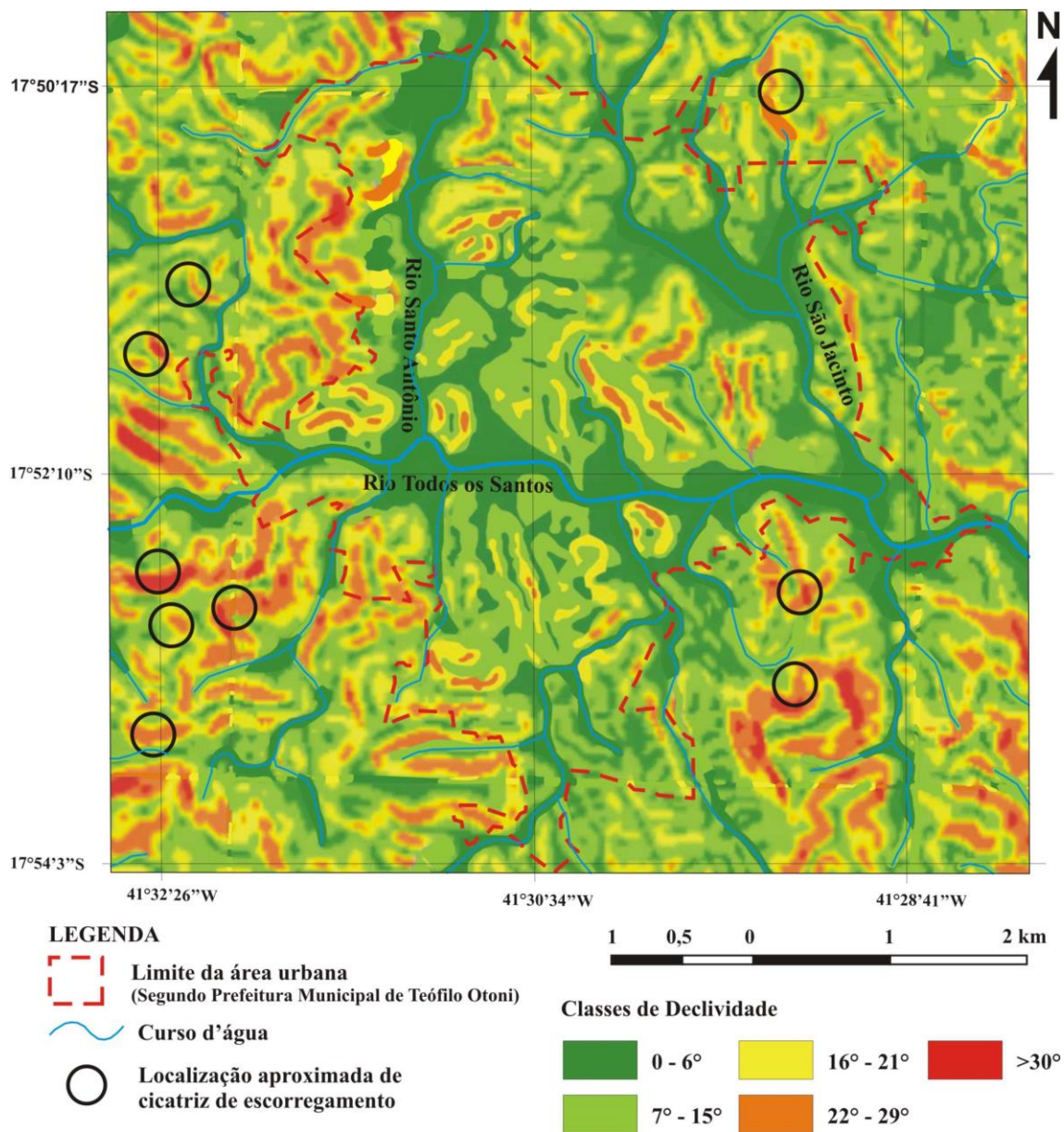


Figura 6.6 – Localização aproximada das principais cicatrizes de escorregamento com relação às classes de declividade da área investigada.

Considerando-se que os escorregamentos ocorreram em formas de terreno convergentes, associadas a setores declivosos da área investigada, percebe-se que o arcabouço geomorfológico exerce ação determinante para a deflagração de escorregamentos, ação essa que pode ser preponderante à expansão da cidade, até o presente. Ferraz *et al.* (2017) entendem que o crescimento da área ocupada em Teófilo Otoni se desenvolveu majoritariamente sobre configuração geomorfológica menos restritiva, especialmente durante as décadas de 1980 e 1990. Os autores destacam que os eixos de expansão urbana que se projetaram para as porções mais declivosas da área investigada, especialmente a partir de 2006, podem significar, “em

momento futuro, fragilização de áreas e desencadear ocorrência de movimentos gravitacionais de massa” no interior da cidade (FERRAZ *et al.*, 2017, p.17).

Isso significa que o adensamento urbano pode representar agravamento para a suscetibilidade a escorregamentos no interior da cidade, até mesmo naquela unidade de relevo em princípio menos adequada à ocupação. Nesse cenário geomorfológico há feições do relevo que se configuram como zonas convergentes com vertentes de elevadas declividades, ainda que tal conjuntura seja mais frequente em outros setores da área investigada. Além disso, trabalhos recentes identificaram escorregamentos ocasionados por cortes de taludes e ineficiência de sistemas de drenagem urbana (BARROSO *et al.*, 2016) ou abertura de loteamentos no interior de concavidades do relevo, fragilizando espaços cujo cenário geomorfológico apresenta suscetibilidade a escorregamentos (GONÇALVES *et al.*, 2014) – em sintonia com resultados obtidos em outras áreas, por Rodrigues (2005), IPT (BRASIL, 2007), Pfaltzgraff (2007) e Parisi e Pinho (2012), como exemplos. Mesmo assim, os resultados alcançados parecem indicar que morfologia e declividade das vertentes exercem forte papel condicionante para deflagração de escorregamentos, notadamente nas unidades de relevo ainda pouco ocupadas pelo tecido urbano.

Tais esforços sinalizam para a necessidade de trabalhos futuros que investiguem as consequências da alteração das características do terreno pela ocupação urbana, no que diz respeito aos movimentos gravitacionais de massa, especialmente em se mantendo o padrão de expansão que se verificou na cidade durante as últimas duas décadas. Nessa perspectiva, estes trabalhos deverão considerar que ocupação e cortes irregulares em encostas possam fomentar instabilidade dos taludes e desenvolver suscetibilidade a escorregamentos, sendo necessárias pesquisas interdisciplinares que envolvam, dentre outros, conhecimentos e conceitos das engenharias e mecânica dos solos e rochas (GOSWAMI e SINGH, 2008). Devem levar em conta, ainda, que a geomorfologia tem muito a contribuir para o entendimento e prevenção de escorregamentos, dadas suas ferramentas para avaliação das inter-relações entre os processos naturais e os sistemas humanos (ALCÁNTARA-AYALA, 2002).

6.1.3 – As coberturas superficiais das áreas suscetíveis a escorregamentos: aspectos morfológicos e da dinâmica hidrológica

Os solos são elementos da paisagem que se revestem de crucial significado para a avaliação da suscetibilidade a escorregamentos, tanto por representar materiais que são movimentados, quanto por condicionar tais fenômenos. Nesse sentido, para Coelho Netto

(2011), escorregamentos ocorrem quando a infiltração excede a capacidade de drenagem do solo durante os períodos de precipitação prolongada, resultando em pressões positivas nos poros e alterando sua resistência frente ao excedente de água em seu interior.

No que diz respeito à morfologia dos solos, Wolle e Carvalho (1989) consideram que a existência de descontinuidades hidráulicas nos mantos de alteração pode atuar como barreira aos fluxos de água nos solos, em geral no contato entre solo e a rocha ou entre materiais coluvionares e solos saprolíticos⁶³, também comuns entre horizontes pedogenéticos. Em quaisquer dos casos, configuram superfícies potenciais de ruptura, que podem ser consideradas fatores condicionantes para a deflagração de escorregamentos. Nas palavras de De Ploey e Cruz (1979), descontinuidades hidráulicas dos solos têm potencial para condicionar escorregamentos, especialmente quando associadas a mudanças mineralógicas ou texturais, visto que podem formar obstáculos ao fluxo e aos níveis de água suspensos.

Considerando a relevância dessas descontinuidades, foram avaliados solos e coberturas superficiais em reentrâncias selecionadas ao longo dos setores periurbanos de Teófilo Otoni, conforme Figura 6.7, definidas por serem morfologicamente similares àquelas que apresentam cicatrizes dos escorregamentos do ano de 2002, sendo pelo menos uma delas palco dos eventos daquele ano (Figura 6.7, A e F). Levou-se em conta, ainda, que estando tais reentrâncias localizadas em espaços menos alterados pela ocupação urbana, os materiais superficiais se apresentam mais bem preservados, facilitando, assim, o reconhecimento de suas características morfológicas.

Foi também critério de definição a viabilidade de acesso para os trabalhos de campo, principalmente no que diz respeito à segurança durante execução destes, visto que muitas reentrâncias, nas periferias da cidade, estão próximas a áreas de criminalidade reconhecidamente elevada. Na zona rural, as investigações dependeriam de consentimento dos proprietários das fazendas nas quais se localizam, o que representou certo entrave na execução dos trabalhos de campo.

⁶³ Para Nogami *et al.* (1985), solos saprolíticos são aqueles que resultam da alteração *in situ* da rocha de origem, mas ainda mantêm, de maneira nítida, algo da textura da rocha matriz.

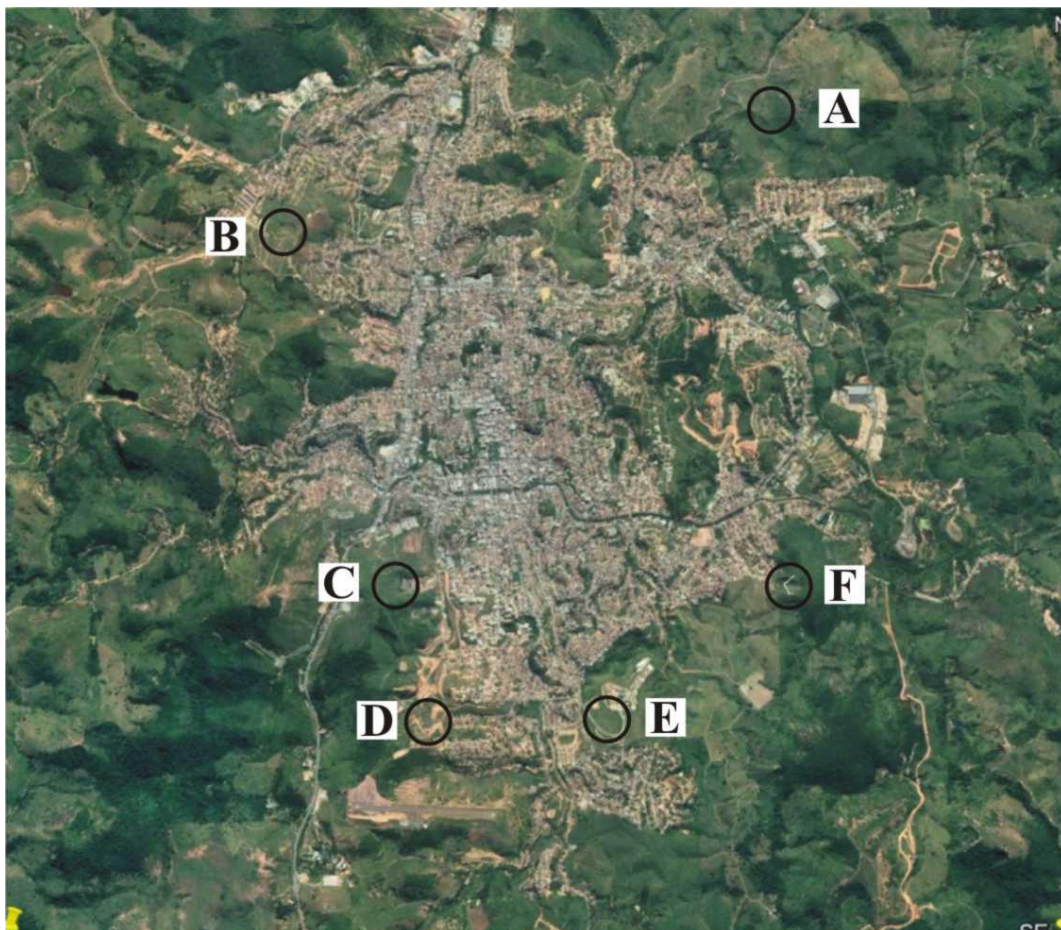
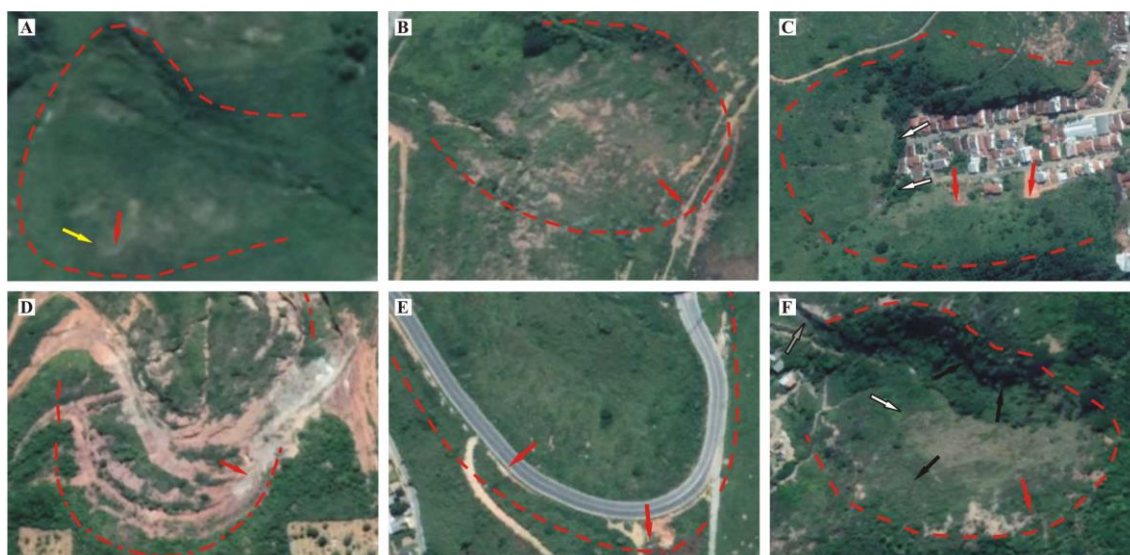


Figura 6.7 – Localização das reentrâncias selecionadas para trabalho de campo, em extrato de imagem *Google Earth Pro*. Estas se localizam no interior ou próximas aos bairros cujos nomes serão utilizados para a elas se referir, a saber: Matinha (A), Viriato (B), Olga Corrêa Prates (C), Dr. Laerte Laender (D), Jardim São Paulo (E) e Santa Clara (F). As reentrâncias Matinha (A) e Santa Clara (F) exibem evidências de escorregamentos nas imagens do ano de 2002.

Em campo, perfis de solo, coberturas de natureza supostamente coluvionar e rochas em distintos estágios de alteração foram analisados, com objetivo principal de compreender as características físicas correlacionáveis a escorregamentos nestes materiais. Dessa forma, os esforços se concentraram naquilo que diz respeito à capacidade de infiltração e percolação dos fluxos no interior das coberturas, buscando identificar também eventuais superfícies potenciais de ruptura, possíveis discontinuidades hidráulicas. Foram observadas estrutura, textura, presença de materiais grossos e calhaus, além da profundidade dos horizontes ou camadas. Tais observações ocorreram em perfis localizados na base, média e alta vertente e topo das reentrâncias selecionadas, conforme Figura 6.8. Para melhor caracterização, em alguns casos, a cor dos solos foi também verificada em campo.



LEGENDA

Borda de reentrância	Cicatriz de escorregamento	Suposto colúvio	Saprolito
Borda degradada de reentrância	Perfil de solo	Afloramento rochoso	

Figura 6.8 – Localização dos pontos selecionados para trabalho de campo nas reentrâncias Matinha (A), Viriato (B), Olga Corrêa Prates (C), Dr. Laerte Laender (D), Jardim São Paulo (E) e Santa Clara (F). Imagem *Google Earth Pro*. Há feições menos edificadas, como em A, B e F, enquanto outras exibem estruturas urbanas, como em C e E ou mesmo as que possuem solos expostos, como D.

Na transição entre alta vertente e cimeira da reentrância Santa Clara, ocorre, eventualmente, camada de solo pigmentada por matéria orgânica, textura argilo-arenosa e estrutura em blocos que se desfazem em granular, com profundidade de aproximadamente 43cm (Figura 6.9 A, A1 e A2). Subjacente a esta, quando ocorre, verificou-se camada com características texturais e estruturais semelhantes, de cor vermelho-amarela (5YR 4/6), com espessura média de 72cm. Este solo superficial⁶⁴ está sobreposto a material saprolítico predominantemente vermelho-amarelo, que grada em profundidade para cores variegadas, no qual estão presentes reliquiares da rocha de origem em forma semicircular e tamanho centimétrico. Nestes residuais é possível verificar xistosidade ou textura micácea, ainda que em distintos estágios de alteração (Figura 6.9, A e A3).

Coberturas semelhantes foram verificadas na borda da reentrância Dr. Laerte Laender, na qual ocorre solo superficial de cor vermelho-amarela (5YR 4/6), textura areno-argilosa e

⁶⁴ Vargas (1978) entende como solo superficial aquele que corresponde à unidade mais superficial comumente laterizada, que possui alta porosidade e pode ter sua origem associada à alteração *in situ* ou resultar da alteração de materiais transportados de montante sob ação da gravidade (origem coluvionar).

estrutura em blocos que se desfaz em granular (Figura 6.9, B e B1), com espessura aproximada de 120cm. Estes estão sobrejacentes a solo saprolítico maciço de textura siltosa, no interior do qual há cascalhos subangulares centimétricos branco-leitosos (Figura 6.9 – B2), além de estruturas reliquiárias que preservam xistosidade da rocha subjacente (Figura 6.9 – B, destacados em R), ambos organizados com linearidade semelhante ao que se observa dos veios presentes na rocha que aflora na área.

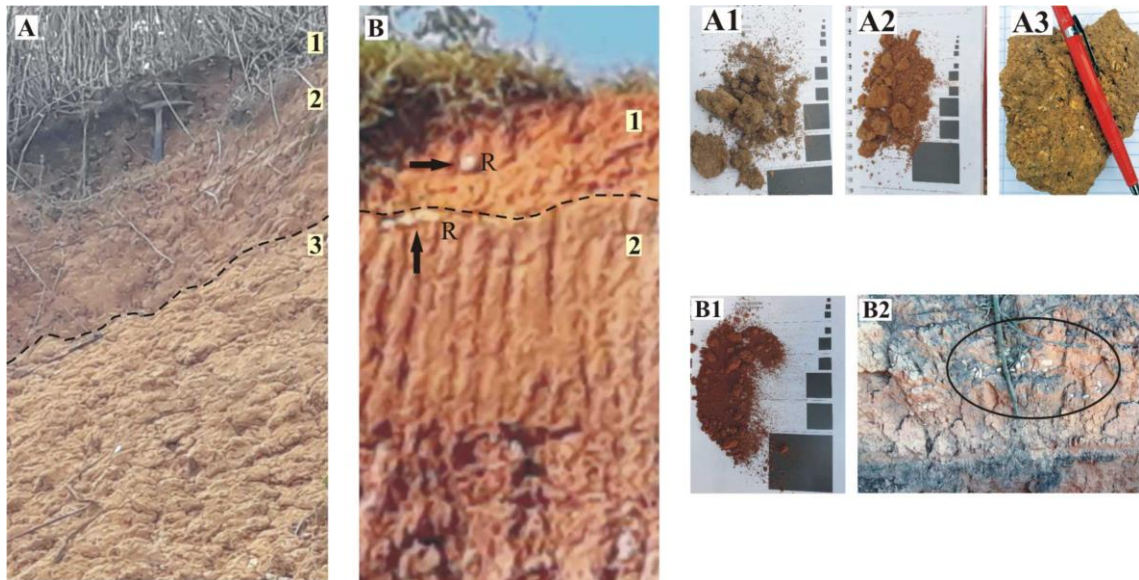


Figura 6.9 – Coberturas superficiais das reentrâncias Santa Clara (A) e Dr. Laerte Leander (B), nos topos das vertentes. É possível identificar horizontos ou subhorizontes (demarcados pelos numerais de 1 a 3), cujas amostras estão destacadas à direita. Possível superfície de ruptura entre solos superficial e saprolítico demarcada pela linha tracejada (em A e B), além de fragmentos de rocha (R) e cascalhos – destacados em B2.

Nos dois casos foram verificadas unidades superficiais com elevada porosidade, em função da sua estrutura granular (FERREIRA *et al.*, 1999; GHIDIN *et al.*, 2006; COELHO *et al.*, 2007; CAMPOS *et al.*, 2008), sobrepostas a solos saprolíticos maciços, nos quais a infiltração deve ser significativamente inferior (FALESI *et al.*, 1972; RIBEIRO e SOUZA, 1994; FILIZOLA *et al.*, 2002, WADT *et al.*, 2004). Entre as diferentes unidades, transições ocorrem de maneira abrupta, configurando limites identificáveis em campo (representadas pelas linhas tracejadas na Figura 6.9, em A e B) que, considerando as características pedológicas descritas, possivelmente se comportam como descontinuidades hidráulicas.

A esse respeito, De Ploey e Cruz (1979) Shoaie e Slide (2009) observaram que contatos entre solos superficiais e saprolíticos atuam dinamicamente como planos de ruptura durante escorregamentos, em setor paulista da Serra do Mar. Compreenderam os autores que o limite

de liquidez das porções superficiais do solo foi atingido mais rapidamente em função dos impedimentos à percolação impostos pelas unidades subjacentes, deflagrando os movimentos. É o que ocorre quando a coesão dos solos superficiais é reduzida e, como consequência, a menor resistência às tensões de cisalhamento culminam na movimentação dessas massas do solo (DE PLOEY e CRUZ, 1979; LACERDA, 2007).

Na reentrância Matinha o aludido pelos autores anteriormente citados é verificável em campo, ao se avaliar planos de ruptura entre os diferentes materiais superficiais e subsuperficiais da vertente. Porções do piso das cicatrizes de escorregamentos ali encontradas são formadas pela rocha de origem, que aflorou após os escorregamentos ocorridos na área, os quais removeram materiais grossos, compostos por cascalhos centimétricos em matriz areno-argilosa (Figura 6.10 – B). Estes materiais, ainda presentes nas porções não afetadas da encosta, são avaliáveis sobrepostos ao substrato litológico (Figura 6.10 – B).

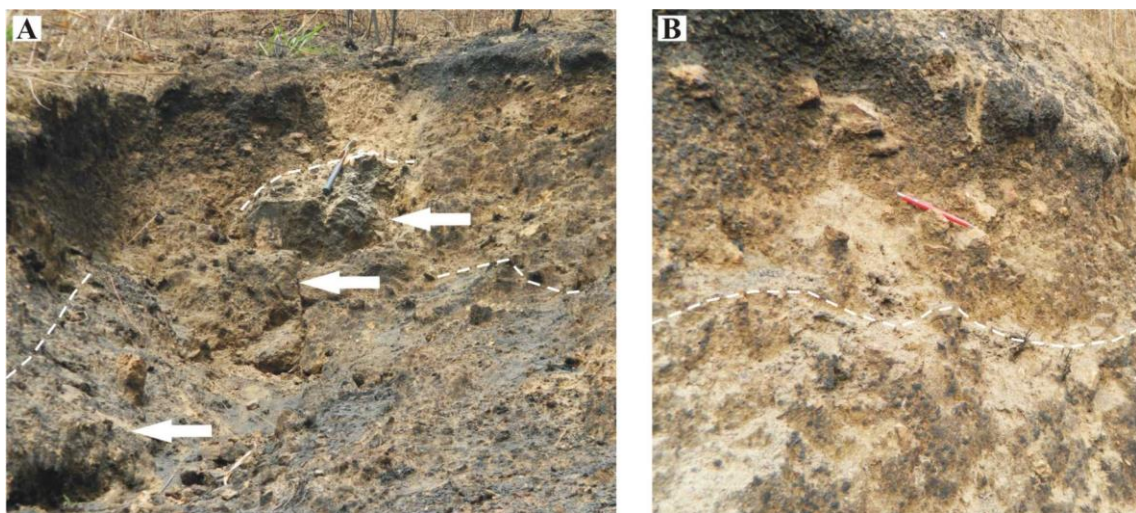


Figura 6.10 – Cicatriz de escorregamento na reentrância Matinha. O piso dessa feição, parcialmente visível, exhibe afloramento rochoso (indicado pelas setas em A, também presentes na parte inferior de B), recoberto por cascalhos, material terrígeno e resíduos de queimada, sendo possível identificar contato entre cobertura superficial e substrato litológico (linhas tracejadas), mesmo após longa exposição às intempéries, fogo e pisoteio de animais.

Mesmo com resíduo de queima vegetal e material terrígeno inconsolidado que recobrem a rocha que compõe o piso dessas cicatrizes, é possível, em campo, compreender que o limite entre o substrato litológico e a cobertura superficial figurou como descontinuidade hidráulica, tendo ação condicionante para os escorregamentos ocorridos nessa vertente. Os materiais superficiais, permeáveis, devem ter sido saturados por chuva de grande volume que atuou como gatilho para a ocorrência dos movimentos, gerando poro-pressões positivas e alterando a coesão

interna dessa cobertura. A rocha subjacente, pouco permeável, favoreceu a formação de uma descontinuidade hidráulica, a qual atuou como plano de ruptura para os escorregamentos.

Nas reentrâncias Olga Corrêa Prates e Jardim São Paulo, ambas em áreas menos declivosas, situadas nos limites da cidade de Teófilo Otoni, os mantos de intemperismo mais profundos também apresentam descontinuidades texturais e estruturais nas suas porções superiores. No primeiro caso, na reentrância Olga Corrêa Prates, a porção superficial do solo, em fase decapitada, possui espessura de 80cm, é composta por material de textura argilosa, com presença de cascalhos subangulares milimétricos a centimétricos, e possui coloração bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3), estrutura em blocos que se desfaz em granular, muito porosa, conforme verificado com auxílio de lupa (Figura 6.11, A e A1). Subjacente a este, foi verificado material siltoso, maciço, com pouca presença de cascalho e porosidade menos visível (Figura 6.11, A e A2).

Na reentrância Jardim São Paulo, também em solo degradado em sua superfície, observou-se, nos primeiros 58cm, material areno-argiloso, com estrutura em blocos que se desfaz em granular e pigmentação por matéria orgânica próximo à superfície, de cor bruno muito escura (7.5YR 2.5/2), conforme Figura 6.11, B e B1. Este ocorre sobrejacente a material argiloso, com estrutura em blocos (que com manuseio moderado a prolongado se desfaz em granular) e cor bruno forte (7,5YR 5/8), conforme Figura 6.11, B e B2.

Nestes solos, mais nitidamente naquele avaliado na reentrância do Jardim São Paulo (Figura 6.11 – B), entre as porções superficiais e aquelas a elas subjacentes, há também transição visível, especialmente no que se refere às mudanças texturais e estruturais. Em princípio, essa característica não parece se tratar de contatos entre solos superficiais e saprolíticos, mas possivelmente de transições entre camadas do solo. De qualquer forma, modificações relevantes em curta distância vertical na textura ou estrutura dos solos são consideradas, em muitos trabalhos, como obstáculos à infiltração, descritas na literatura como até mesmo capazes de influenciar na formação de lençóis de água suspensos (CODEVASF, 2000; OLIVEIRA, *et al.* 2003; GONZÁLES e ALVES, 2005, entre outros). Não se trata aqui de uma mudança textural abrupta – conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013) –, mas alterações que ocorrem em poucos centímetros no interior dos solos. Assim, podem essas descontinuidades ser consideradas possíveis superfícies de ruptura, em função da dinâmica hidráulica que eventualmente exerçam no interior dos solos. Nesse caso, em se tratando de descontinuidades hidráulicas, estas podem ser entendidas como prováveis

superfícies de ruptura, mecanismos presentes em escorregamentos translacionais rasos, já identificados na área investigada.

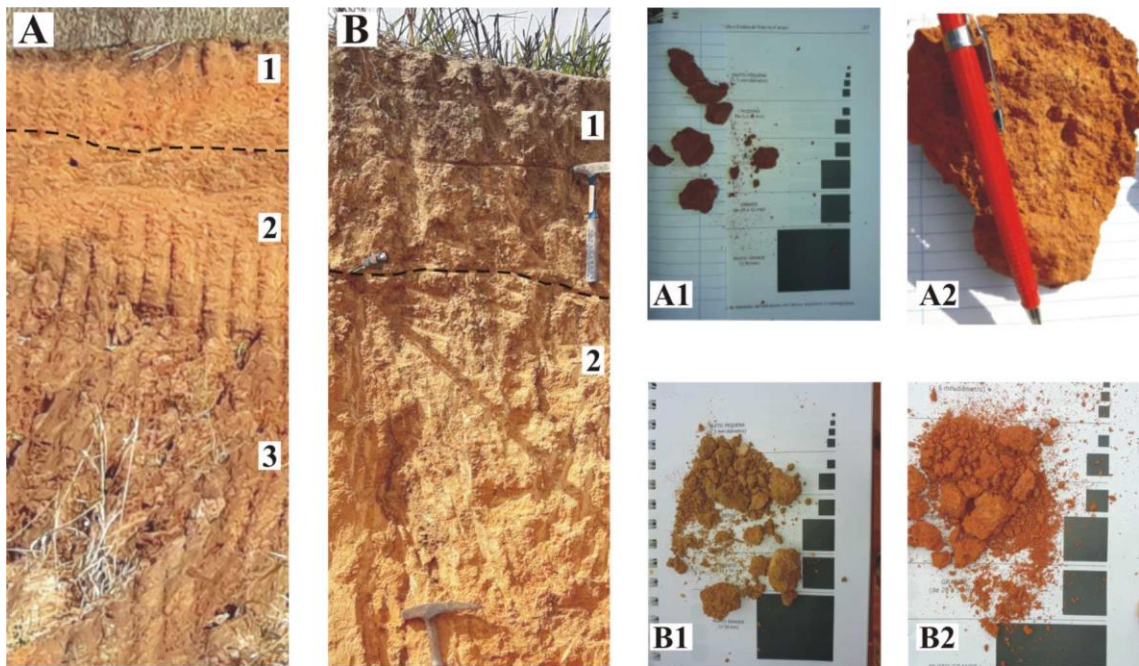


Figura 6.11 – Perfis de solo das reentrâncias Olga Corrêa Prates (A) e Jardim São Paulo (B). Na figura, detalhes dos aspectos estruturais das porções superficiais de ambos os solos (A1 e A2; B1 e B2). Com a linha tracejada objetiva-se realçar possíveis discontinuidades hidráulicas presentes nos solos.

Ainda na reentrância Jardim São Paulo, na média vertente, solo com características distintas daquele situado no topo apresenta, em seus 36cm superficiais, textura areno-argilosa e estrutura granular, com marcante pigmentação por matéria orgânica (Figura 6.12). Os primeiros centímetros deste solo, que se mostrou muito degradado em sua superfície, encontravam-se recuados no talude, se comparado com as porções inferiores do perfil. Assim, verificou-se um degrau esculpido por desgaste posterior ao corte que exibiu estes materiais, executado para abertura da via pública. As camadas subjacentes, muito argilosas, possuem estrutura em blocos subangulares muito bem desenvolvida (Figura 6.12, 3 e 4), com marcante cor vermelha (2.5YR 4/6) e pouca cerosidade, resistem ao desgaste em função das suas referidas propriedades mecânicas e boa capacidade de infiltração. Mesmo assim, entre estes materiais é observável transição abrupta, ainda que solos com estrutura em blocos não sejam necessariamente considerados como restritivos à percolação (ROCHA *et al.*, 2002; EMBRAPA, 2013; NAKATA *et al.*, 2016, como exemplos).



Figura 6.12 – Solo na média vertente da reentrância Jardim São Paulo. Observar descontinuidade (tracejado) que marca transição entre materiais areno-argilosos e muito argilosos, (A, 1 e 2) com marcante estrutura em blocos bem desenvolvida (3 e 4).

Também em contexto de média vertente, na reentrância Viriato, solo pouco profundo é observado, em sua porção superficial que exibe espessura de 68cm, com materiais de textura areno-argilosa e cor bruno avermelhada (2,5YR 3/4), com estrutura em blocos que se desfaz em granular (Figura 6.13, A e B). Cascalhos milimétricos a centimétricos foram encontrados em pequena quantidade, próximos à superfície.

Abaixo destes materiais superficiais, camada maciça, de textura siltosa apresentava, a partir dos 120cm de profundidade, residuais da rocha de origem, em avançado estágio de alteração. De modo discreto, as mudanças das características texturais e estruturais entre os materiais superficiais e aqueles que derivam diretamente da rocha subjacente pôde ser verificada em campo (Figura 6.13 – A).

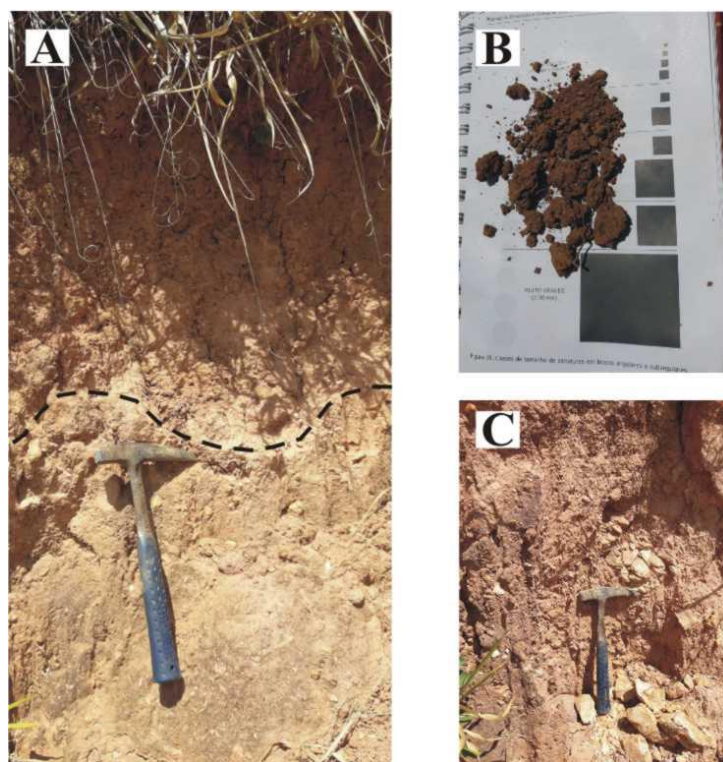


Figura 6.13 – Coberturas superficiais da reentrância Viriato, na média vertente. Subjacente a horizonte que apresenta estrutura em blocos que se desfazem em granular (B), ocorre solo saprolítico maciço pouco espesso, que gradativamente exhibe feições da rocha de origem (C).

Em contexto distinto, na base da reentrância Olga Corrêa Prates, logo a jusante da ruptura de declive existente entre a vertente e o eixo principal de drenagem, materiais distintos daqueles anteriormente avaliados foram encontrados, aparentemente depositados diretamente sobre substrato rochoso (Figura 6.14 – A). Esses materiais são compostos por matriz de granulometria areno-argilosa, na qual estão presentes, dispostos de modo irregular, cascalhos milimétricos a centimétricos, de cores e texturas variadas, cuja geometria mais se assemelha a depósitos coluvionares e menos a alterações *in situ* (Figura 6.14, B e C). Não há aparente organização em camadas e estão sobrejacentes ao substrato rochoso (Figura 6.14 – D), não sendo verificados, entre eles, materiais que sugiram horizontes de solos soterrados.

Para Moura *et al.* (1991), no interior das reentrâncias de anfiteatros, ocorre retrabalhamento dos materiais de superfície, em muitos casos, associados a múltiplos episódios de formação de depósitos coluviais no piso dessas feições. Os autores relatam, ainda, que depósitos de natureza coluvionar no interior de reentrâncias do relevo são reconhecidos na literatura geomorfológica, entendidos como rampas de colúvio por Bigarella e Mousinho (1965) ou "complexos de rampa", conforme Meis e Monteiro (1979).



Figura 6.14 – Aspectos dos materiais na base da bairros Olga Corrêa Prates. Material de natureza supostamente coluvionar (A-1) depositado diretamente sobre substrato rochoso (A-2), formado a partir de rochas que sofreram intemperismo esferoidal, muito fraturadas quando em superfície (D). O aspecto do suposto colúvio (B) chama a atenção para cascalhos angulares e subangulares de distintos tamanhos (C), desorganizadamente dispostos em material areno-argiloso, no qual não se verificou organização em horizontes ou camadas.

Também na base, na reentrância Santa Clara, em porção central do eixo principal de drenagem, afetado por sulcos erosivos profundos e interconectados, materiais argilo-arenosos, eventualmente silto-arenosos, configuram matriz para calhaus e cascalhos angulares e subangulares de tamanhos distintos, com predomínio dos centimétricos (Figura 6.15 – A). Ao contrário daquele verificado na reentrância Olga Corrêa Prates, este suposto depósito possui cores distintas ao longo do perfil e calhaus ou matacões⁶⁵ depositados em seus primeiros centímetros, estando sobrepostos ao substrato rochoso alterado (Figura 6.15 – B), ladeado por vertentes declivosas, nas quais afloramentos rochosos estão presentes (Figura 6.15 – C).

A hipótese, no caso dessas duas reentrâncias, dadas as características das coberturas ou depósitos presentes em suas bases, é que estes tenham origem relacionada ao transporte de materiais das vertentes para os eixos principais de drenagem. Troeh (1965) reconhece como encostas de lavagem aquelas com contornos convergentes, que se configuram como coletoras de água e são “geralmente preenchidas por depósitos coluviais, uma vez que estas representam zonas de convergência de fluxos tanto superficiais quanto subsuperficiais” (FERNANDES *et al.*, 2001, p.52). Ribeiro *et al.* (2010, p.131), a esse respeito, consideram que a dinâmica nas

⁶⁵ Calhaus são frações granulométricas com diâmetro medindo entre 2 e 20 cm, ao passo que matacão é fração com diâmetro igual ou superior a 20 cm (SANTOS *et al.*, 2015).

feições convergentes do relevo, como as reentrâncias da área investigada, se relaciona a fluxos de materiais que “descem de vertentes abruptas” e, em suas bases, produzem “depósitos de detritos de perfis côncavos, típicos de encostas de lavagem”. Ao mesmo tempo, Lopes (1995, p.139) considera que depósitos em interior de anfiteatros, a exemplo de cascalheiras e colúvios, “são também explicáveis pela ocorrência extensiva e repetida de movimentos de taludes, deflagrados por eventos de grande pluviosidade”, sendo a evolução das encostas em concavidades do relevo em parte controlada por “instabilizações periódicas e catastróficas” (LOPES, 1995, p.140).

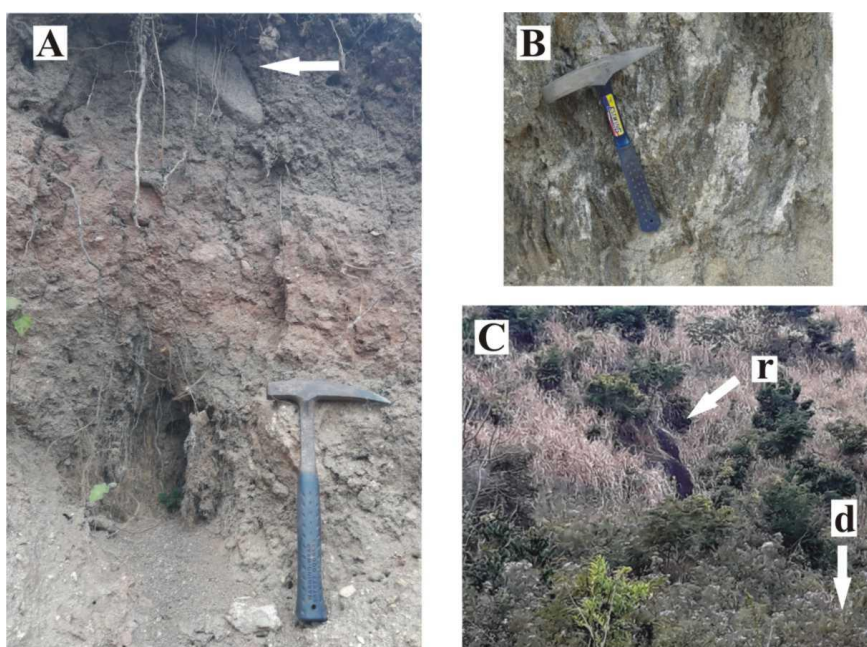


Figura 6.15 – Aspectos de campo da reentrância Santa Clara. Material areno-argiloso com cascalhos e blocos rochosos dispersos em seu interior, que apresenta fácies semelhantes a depósitos de tálus ou de natureza coluvionar, com variações de cor (A), situado no eixo principal de drenagem da reentrância Santa Clara, contendo calhaus na porção superficial do depósito (demarcado com seta em A). Essa cobertura está depositada diretamente sobre saprolito que mantém xistosidade e bandamentos reliquiais (B), configurando depósito localizado no piso da reentrância (C – d), abaixo de afloramento rochoso na vertente (C – r).

Essas informações corroboram com a interpretação da gênese dos materiais verificados nos pisos das reentrâncias como depósitos correlatos aos movimentos ocorridos nas vertentes adjacentes, especialmente no caso das reentrâncias Santa Clara e Matinha. Nas encostas dessas reentrâncias foram avaliados solos superficiais rasos, em contato com saprolito ou rocha matriz – essa última aflorando em trechos das vertentes, aludindo à intensa morfogênese dessas feições. A possível recorrência dos eventos, além de lançar luz acerca da espessura dos depósitos encontrados, por vezes mais profundos que 180cm, parcialmente registrado na Figura

6.15 – A, indica a instabilidade dessas encostas, corroborando para a compreensão de que se tratam de áreas suscetíveis a escorregamentos.

Além disso, como exposto, foram verificadas, de forma menos ou mais nítida, possíveis superfícies de ruptura com potencial de configurar descontinuidades hidráulicas no interior das coberturas avaliadas em campo, mas nem todas elas apresentam o mesmo significado para a avaliação da suscetibilidade a escorregamentos na área investigada. As descontinuidades reconhecidas nas reentrâncias Matinha, Santa Clara e Dr. Laerte Laender, as mais declivosas dentre as avaliadas em campo (Figura 6.16), ocorrem entre solos superficiais e substrato rochoso – no primeiro caso – ou solos superficiais e solos saprolíticos, nos dois últimos. Nas demais reentrâncias, localizadas em áreas de menor declividade (Figura 6.16), as descontinuidades estão presentes entre subhorizontes no interior dos solos superficiais, em mantos de intemperismo mais homogêneos e profundos, se comparados àqueles das reentrâncias de áreas mais declivosas, alguns dos quais restritos a poucos centímetros sobrejacentes à rocha pouco alterada.

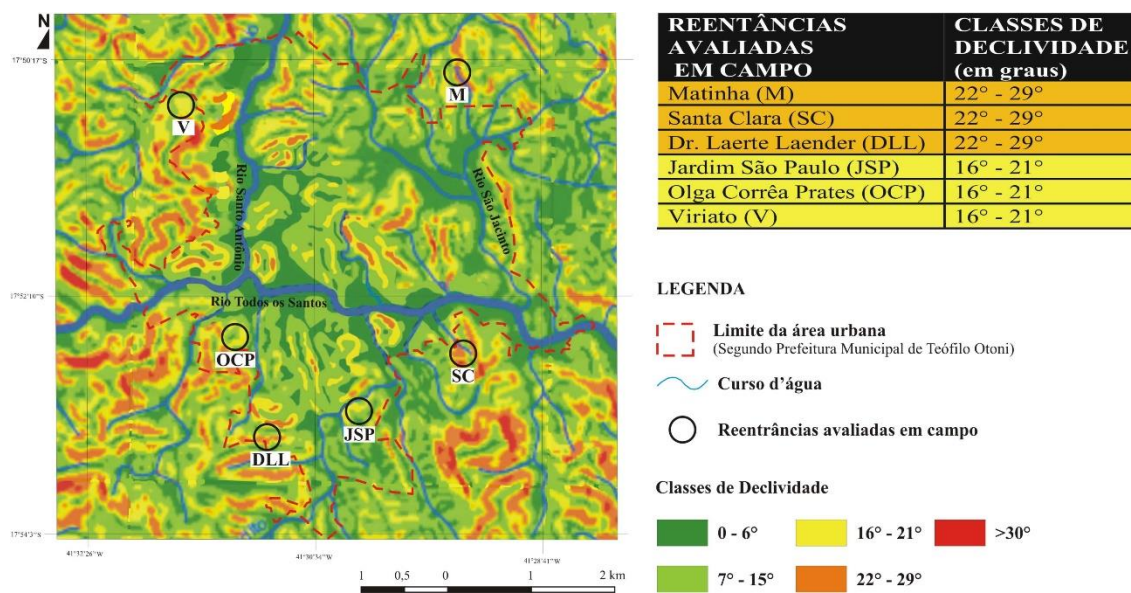


Figura 6.16 – Reentrâncias avaliadas em campo, conforme classes de declividade.

Considerando que as reentrâncias são morfologicamente similares, todas elas configurando formas convergentes do terreno, mas com distintas declividades, é conveniente ressaltar que não se observou em campo relação direta entre as possíveis superfícies de ruptura e substrato lito-estrutural dessas áreas. Em outras palavras, rochas em variados graus de alteração, com xistosidade e bandamento reconhecíveis, foram verificadas nas reentrâncias Dr.

Laerte Laender e Santa Clara, sendo que, nesta última, foram também observadas aquelas que não apresentavam tais texturas. Na reentrância Matinha, o substrato litológico que configura piso das cicatrizes de escorregamento não exibia xistosidade ou bandamento, característica também verificada nos afloramentos em setores da reentrância do bairro Olga Corrêa Prates. O que as difere, em primeira análise, são as declividades, que podem justificar as distinções verificadas nos solos avaliados em campo.

A esse respeito, para Barreto (2016), os elementos que elevam a instabilidade das vertentes podem atuar conjuntamente, sendo que a “condutividade hidráulica saturada dos solos é uma propriedade hidrológica que, além de expressar a dinâmica da água no solo, pode também refletir na influência de outros condicionantes associados” (BARRETO, 2016, p.24). Moneche (2012, p.100), por sua vez, identificou escorregamentos translacionais em “anfiteatros erosivos de cabeceiras de drenagem”, nos quais os materiais deslocados moveram-se “de maneira coerente ao longo da superfície de ruptura”, nas unidades de relevo de maiores declividades da região de Itarana, Espírito Santo. Já para Michel *et al.* (2012, p.19), a declividade do terreno determina a probabilidade de existência de planos de ruptura nos solos, uma vez que é a inclinação da encosta que “rege as linhas de fluxo, indicando os locais onde haverá maior concentração de água e conseqüentemente maior probabilidade de falha”.

Em estudos anteriores, como o de Kawakubo *et al.* (2005), correlacionou-se declividade e ocorrência de solos rasos à suscetibilidade a escorregamentos, ao se concluir que, em Atibaia, Minas Gerais, solos com significativas restrições de uso, localizados em áreas mais declivosas, têm maior propensão à ocorrência dos fenômenos. Jesus (2008), avaliando histórico de escorregamentos na cidade de Salvador, Bahia, reconheceu que a maior parte dos eventos se relacionava a superfícies de rupturas pouco profundas, avaliáveis em campo, algumas delas em vertentes caracterizadas por declividades acentuadas.

Dessa forma, na área investigada a declividade parece atuar diretamente na suscetibilidade a escorregamentos não apenas por configurar feições do relevo com maior energia potencial, o que propicia suscetibilidade do terreno à movimentação de massa (CUNHA, 2001; SATO e MENDES, 2005; FERREIRA, 2015), mas também como fator de formação do solo, no sentido de afetar as suas características, notadamente no que diz respeito à profundidade e à presença de descontinuidades hidráulicas atribuídas aos solos das áreas mais declivosas.

Isso parece mais nítido, dentre todas as reentrâncias avaliadas em campo, naquelas que apresentam maior potencial de análise, não apenas em função da morfologia convergente, mas pela declividade, diversidade de coberturas superficiais avaliáveis e presença de afloramentos rochosos: Santa Clara e Matinha (essa última com nítidas cicatrizes de escorregamento). No caso da reentrância Santa Clara, cuja cobertura vegetal foi suprimida pela ocupação urbana – em porção mais a jusante do seu eixo de drenagem – e pastagem no restante seu interior, facilitando execução dos trabalhos de campo. Além disso, dentre as vertentes mais declivosas consideradas para trabalhos de campo, essa tem proximidade com o tecido urbano, podendo ser considerada como vetor de crescimento da cidade, o que favoreceu o estabelecimento de caminhos para passagem de pessoas, expondo coberturas e facilitando o acesso a elas.

Por esses motivos, foram elaborados dois perfis esquemáticos das coberturas superficiais verificadas nessa reentrância, os quais são representativos para a compreensão da disposição dos materiais ao longo de distintos trechos das rampas das vertentes, conforme Figura 6.17.

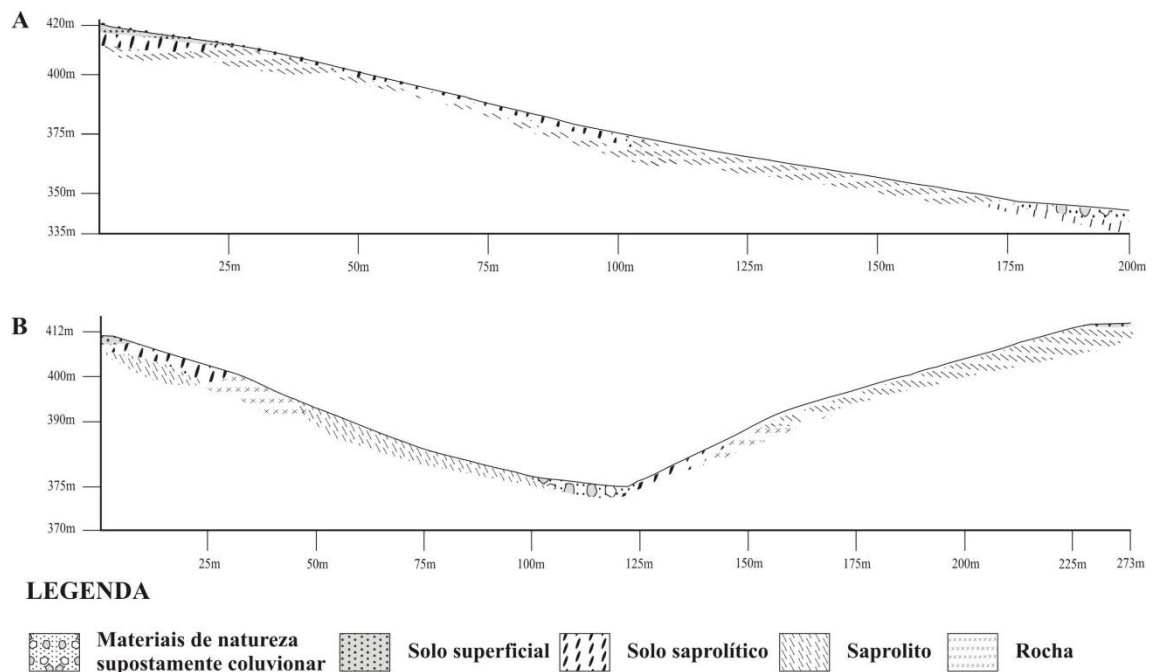


Figura 6.17 – Perfis esquemáticos longitudinal (A), no sentido do eixo principal de drenagem, e transversal (B) da reentrância Santa Clara (sem escala para a profundidade das coberturas). Coberturas superficiais verticalmente exageradas.

Em função das declividades de alguns setores da vertente e do estágio avançado de degradação dos solos, foi possível registrar que, nas áreas mais abruptas das encostas, afloramentos rochosos ou horizontes de solo pouco intemperizados, os quais ainda exibem reliquiários das rochas de origem, eram presentes em superfície. Na maior parte das vezes as

camadas superficiais, geralmente pigmentadas por matéria orgânica estavam ausentes, indicando degradação destes solos, bem como potencial erosivo destas encostas.

Em alguns casos, especialmente no terço superior, solos superficiais capeiam os saprolíticos pouco profundos ou saprolito, comumente havendo descontinuidade hidráulica entre eles. Apenas no topo se pode verificar manto de intemperismo mais profundo, com materiais que podem ser compreendidos como solos superficiais e saprolíticos, os quais, em conjunto, eventualmente exibem espessura igual ou superior a 100cm. Na base dessa reentrância notou-se cobertura de natureza provavelmente coluvionar (Figura 6.15), que se apresentava mais espessa em direção ao principal eixo de drenagem e jusante, sobre a qual residências foram recentemente edificadas, conforme se pode verificar na Figura 6.18.



Figura 6.18 – Evolução do crescimento urbano para o interior da reentrância Santa Clara, em extratos de imagem *Google Earth Pro*. É possível notar que as pressões dessa expansão já haviam levado à ocupação de trechos a jusante do eixo principal de drenagem em 2002 (A), mas lotes foram convertidos em residências e o prolongamento do vetor urbano para o interior da reentrância é marcante na imagem de 2018 (B).

No que diz respeito às coberturas superficiais e morfologia, cenário semelhante foi verificado na reentrância Matinha, embora mais afastada da área urbana. Ainda que aforamentos rochosos não sejam visíveis nas encostas, predominaram coberturas pouco espessas, que geralmente não alcançavam 100cm de profundidade, dispostas diretamente sobre rocha matriz pouco alterada. Também apenas nos topos foram verificados mantos de intemperismo mais profundos, assim como coberturas possivelmente coluviais nos eixos de drenagem.

Com base nesses dados e considerando as demais informações colhidas em campo, é possível propor modelo, o qual apresenta, de forma simplificada, o arranjo das coberturas superficiais nas encostas das mais declivosas reentrâncias da área investigada, conforme Figura 6.19. Nessas áreas, possivelmente, as coberturas terrígenas pouco espessas, subjacentes ao

saprolito ou rocha, em transição marcada por descontinuidades hidráulicas, se associam à convergência dos fluxos subsuperficiais, gerando poropressão, o que propicia a ocorrência de escorregamentos (FREDLUND, 1987; WOLLE e CARVALHO, 1989; FERNANDES *et al.* 2001). Em declividades superiores a 20°, esse contexto parece abarcar os principais condicionantes aos escorregamentos da área investigada.

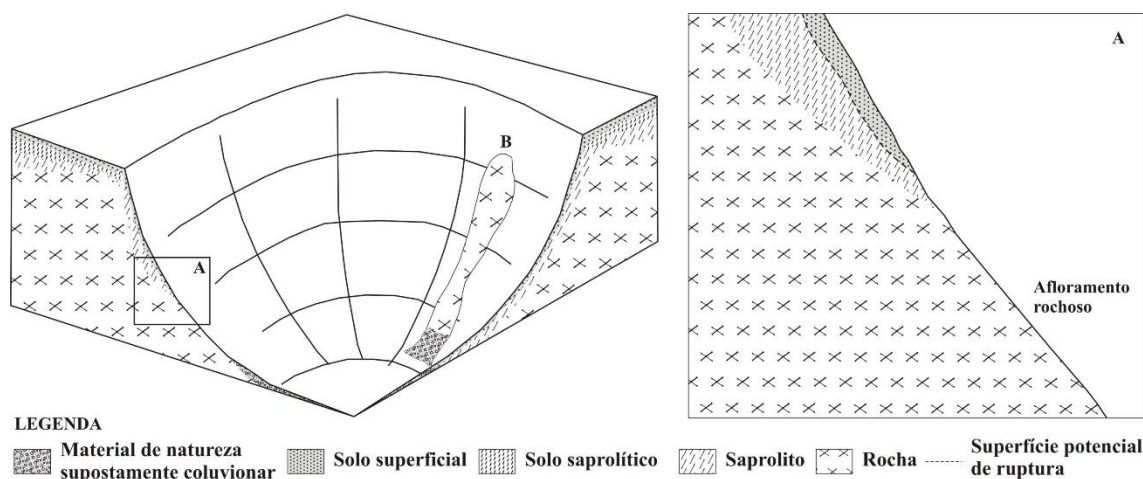


Figura 6.19 – Distribuição das coberturas superficiais nas reentrâncias de maior declividade da área investigada. Notar prováveis superfícies de ruptura, que figuram como descontinuidades hidráulicas e exposição do substrato litológico (A), eventualmente exposto durante escorregamentos, configurando piso das cicatrizes (B).

6.1.4 – A distribuição espacial das áreas suscetíveis a escorregamentos: primeira aproximação

Objetivando sintetizar as observações apresentadas nos tópicos precedentes a este, é possível considerar que (i) as reentrâncias são feições do modelado em que se concentraram os escorregamentos ocorridos na área investigada, (ii) especialmente naquelas que exibem vertentes de mais elevada declividade, (iii) nas quais descontinuidades entre as porções superficiais do solo e materiais subjacentes (saprolito ou rocha, especialmente), configuram os cenários de mais elevada suscetibilidade a escorregamentos. É possível identificar essas reentrâncias e avaliar sua suscetibilidade a escorregamentos, considerando a declividade como fator capaz de condicionar diretamente a possibilidade de ocorrência dos fenômenos, uma vez que determina o grau de predisposição dessas feições aos movimentos. Dessa maneira, a proposta apresenta os graus de suscetibilidade a escorregamentos das reentrâncias da área investigada, utilizando-se das diferentes classes de declividade como elemento de gradação da suscetibilidade⁶⁶, conforme Figura 6.20.

⁶⁶ Ver Capítulo 3 – Materiais e Métodos.

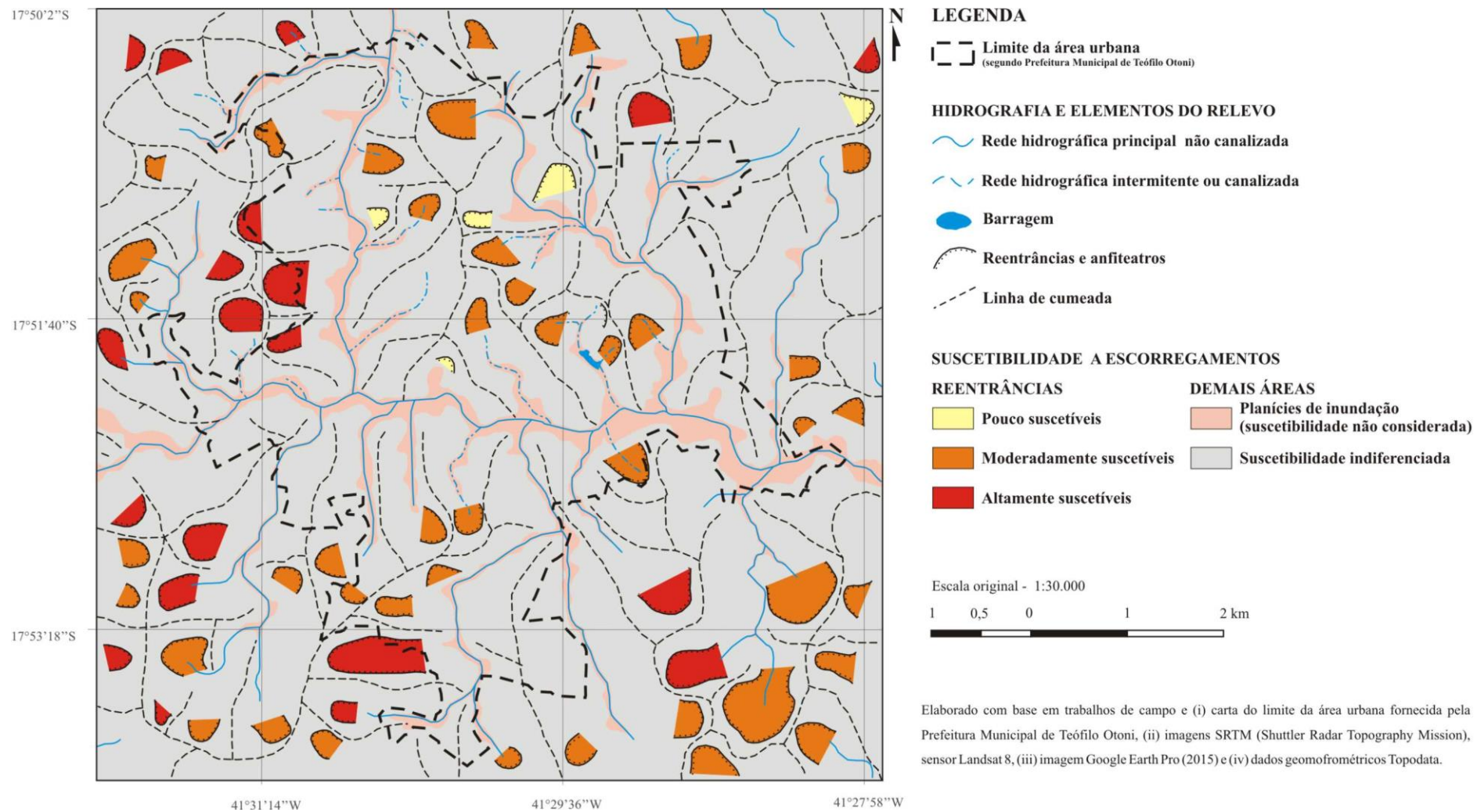


Figura 6.20 – Mapa de suscetibilidade a escorregamentos das reentrâncias da área investigada.

Sobre este mapa, inicialmente, não é demais lembrar que as discontinuidades existentes no interior das coberturas superficiais da área investigada, possivelmente, são também relacionadas à declividade, sendo mais nítidas e, possivelmente, exercendo ainda maior controle hidráulico na medida em que as vertentes se tornam mais declivosas. Além disso, potenciais superfícies de ruptura foram identificadas no interior dos solos em todas as reentrâncias verificadas em campo, motivos pelos quais estas informações não foram utilizadas como elemento de ponderação ou peso no mapa apresentado.

Entende-se como altamente suscetíveis a escorregamentos aquelas reentrâncias em que predominam vertentes ou setores de suas rampas com declividades superiores a 20° (Quadro 6.2). Estão situadas nessas feições grande parte das cicatrizes de escorregamentos reconhecíveis na área investigada, assim como a maior parte daquelas que foram utilizadas como referência neste trabalho⁶⁷. São caracterizadas ainda pela predominância de solos rasos, em alguns casos apresentando contato lítico, sendo também comum a ocorrência de potenciais superfícies de ruptura entre solos superficiais e saprolíticos (em diferentes estágios de alteração). A maior parte dessas reentrâncias se localiza além do limite da área urbana, embora algumas delas tenham sido parcialmente alcançadas pela expansão da cidade, notadamente os setores oeste e sudoeste de Teófilo Otoni.

Foram consideradas moderadamente suscetíveis a escorregamentos as reentrâncias em que há predomínio de declividades entre 15° e 20° (Quadro 6.2). Essas configuram as mais comuns no interior do tecido urbano, em especial nas porções central, norte e sudoeste de Teófilo Otoni. Nessas reentrâncias também foram identificadas possíveis cicatrizes de escorregamento em imagens *Google Earth Pro* (ano de 2002), embora mais discretas e que não são hoje perceptíveis na paisagem. Em campo, foram verificados solos mais espessos e heterogêneos, se comparados aos existentes nas reentrâncias de maior declividade. Nestes solos, superfícies potenciais de ruptura foram identificadas, majoritariamente, entre horizontes pedogenéticos – solos saprolíticos.

As reentrâncias cujas declividades são inferiores a 15° foram interpretadas como áreas pouco suscetíveis a escorregamentos (Quadro 6.2), uma vez que, além de apresentarem os menores gradientes das rampas das suas vertentes, não foram identificadas cicatrizes de escorregamentos, tanto nas imagens avaliadas quanto em

⁶⁷ Estas áreas estão devidamente identificadas nas figuras 6.1 e 6.6.

campo. Uma vez que essas áreas configuram zonas de concentração dos fluxos superficiais e subsuperficiais, não podem ser consideradas como não suscetíveis a escorregamentos, mas não foram identificados critérios que justifiquem caracterizá-las como feições de mais elevada suscetibilidade ao fenômeno.

Quadro 6.2 – A gradação da suscetibilidade a escorregamento das reentrâncias da área investigada, segundo a declividade predominante.

DECLIVIDADE	GRADAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS
Igual ou superior a 20°	Altamente suscetíveis
Entre 15° e 20°	Moderadamente suscetíveis
Inferior a 15°	Pouco suscetíveis

Uma vez que os esforços foram concentrados em determinar os graus de suscetibilidade a escorregamentos no interior das reentrâncias da área investigada, as demais feições, consideradas como de suscetibilidade indiscriminada, não foram submetidas à mesma gradação. Essas áreas, com variados graus de declividade, provavelmente apresentam também diferentes níveis de suscetibilidade a escorregamentos, os quais não foram objeto deste trabalho. As planícies fluviais, que apresentam declividade baixa e estão menos relacionadas aos movimentos que ocorrem nas vertentes e mais com a dinâmica fluvial, foram avaliadas com relação ao risco de inundações e alagamentos para o interior do tecido urbano⁶⁸.

Há ainda importante ressalva a ser devidamente apresentada, a respeito dos graus de suscetibilidade a escorregamento propostos, no que se refere à frequência do fenômeno na área investigada. Muitas regiões do globo ou mesmo do Brasil são estudadas por um grande número de pesquisadores em função da recorrência de escorregamentos, como a Serra do Mar, notadamente nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, a exemplo de Ab'Saber (1985); Fernandes *et al.* (2001) ou Peloggia *et al.* (2014), dentre outros. Mesmo com escassa base de dados a respeito da ocorrência de escorregamentos em Teófilo Otoni, as evidências são suficientes para determinar que o fenômeno ocorreu em um passado relativamente recente, ainda que não tenha sido possível reconhecer episódios anteriores ou posteriores àqueles verificados no ano de 2002.

⁶⁸ Conforme Capítulo 5 – As inundações e alagamentos na área urbana de Teófilo Otoni.

Também não foi possível determinar a precipitação necessária para a deflagração dos escorregamentos, mesmo se reconhecendo as morfologias, declividades e características pedológicas que configuram como condicionantes para a sua ocorrência. Importantes trabalhos apresentaram reflexões a respeito de volume de chuvas, concentrados ou distribuídos ao longo de dias que precederam escorregamentos, que figuram como gatilho para a deflagração destes movimentos. A esse respeito, Souza *et al.* (2012), assumiram que precipitação equivalente a 54,4mm, acumulada em 24 horas, resultou em escorregamentos na cidade do Recife, Pernambuco, embora ressaltem que pluviosidade diária acumulada de 118mm acarretou um número mais significativo de escorregamentos na mesma cidade. Já Michel *et al.* (2011) compreendem que, após período chuvoso, precipitação equivalente a 120mm em 24 horas deflagrou escorregamentos em Rio dos Cedros, Santa Catarina. Os dados avaliados neste trabalho sugerem que os escorregamentos de 2002 ocorreram após precipitação de 246mm em menos de 24 horas, mas não possibilitam apontar um limiar mínimo de chuvas capaz de deflagrar o fenômeno na área investigada, tampouco determinar os resultados de precipitações acumuladas ao longo de dias consecutivos. Em outras palavras, trata-se de episódio de escorregamento relacionado a uma precipitação em muito superior aos demais eventos pluviométricos extremos registrados na área investigada.

Por outro lado, uma vez que tais escorregamentos ocorreram, é exatamente o conjunto das evidências do fenômeno que atesta a existência dos mecanismos que torna a área investigada suscetível e, portanto, passível de eventos futuros. Isso significa que, mesmo que não se trate de região do território brasileiro reconhecida pela recorrência de escorregamentos, não se pode afirmar que os eventos de 2002 foram fenômenos excepcionais, não havendo razão para refutar a possibilidade de novas ocorrências. A gradação da suscetibilidade apresentada na Figura 6.20 deve ser, portanto, compreendida nesse panorama, não sendo comparável com gradações de suscetibilidade semelhantes para outras áreas do Brasil ou do mundo, pois retrata o verificado para a área investigada.

6.2 – A vulnerabilidade a escorregamentos na área investigada: a contínua construção do risco

A distribuição espacial das áreas de maior suscetibilidade a escorregamentos na cidade de Teófilo Otoni e adjacências chama a atenção para um aspecto, dentre outros,

em especial: a maior parte das reentrâncias consideradas como altamente suscetíveis a escorregamentos estão localizadas no limite do tecido urbano – ou para além deste –, com destaque ao flanco ocidental da cidade (como se pode observar na Figura 6.20). Algumas das reentrâncias reconhecidas como moderadamente suscetíveis a escorregamentos também estão situadas junto aos limites da área urbana, ainda que estas sejam mais comuns em seu interior. Em ambos os casos, a expansão da mancha urbana apresenta eixos de crescimento direcionados para feições altamente desfavoráveis para a ocupação, conforme Figura 6.21.

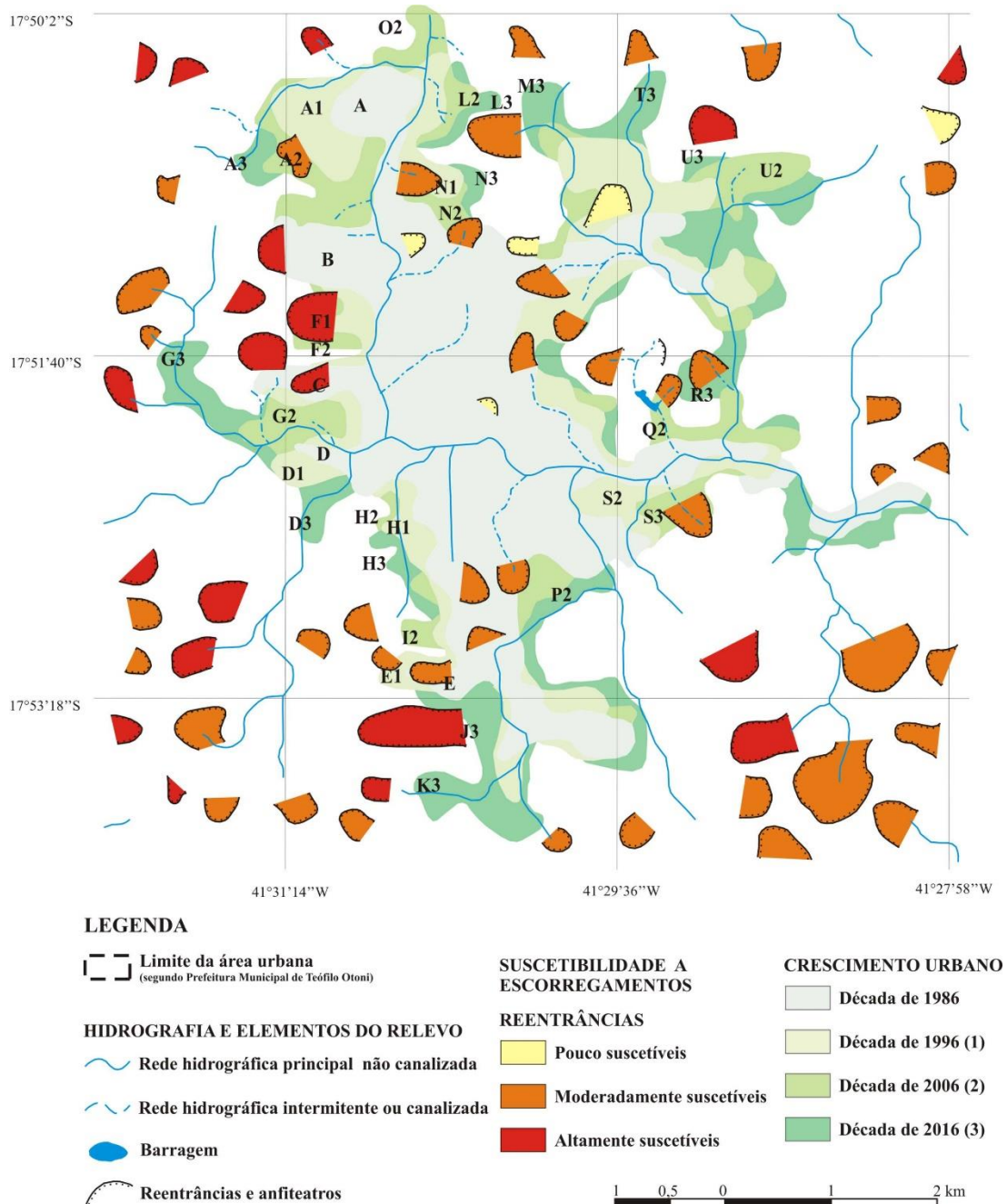


Figura 6.21 – Suscetibilidade a escorregamentos das reentrâncias da área investigada com relação ao crescimento da mancha urbana de Teófilo Otoni.

A esse respeito, ainda na década de 1986 possíveis eixos de crescimento A, B, C, D e E, principalmente, localizados a oeste da cidade, já se projetavam em direção a reentrâncias altamente ou moderadamente suscetíveis a escorregamentos. Com exceção dos vetores de expansão B e C, houve continuidade dos avanços destes setores da cidade na década seguinte (A1, D1 e E1). Mesmo assim, os eixos de crescimento B e C foram palco de ocupação de reentrâncias, configurando, respectivamente, porções dos bairros Joaquim Pedrosa e Indaiá (Figura 6.22). Nos anos 1990, outros vetores de crescimento (citados, dentre outros, A1, F1, D1, H1, E1, N1) alcançaram interior de reentrâncias alta ou moderadamente suscetíveis a escorregamentos, a maior parte deles ainda no setor ocidental da cidade. São exemplos as reentrâncias dos bairros Olga Corrêa Prates (E1) e Bela Vista (N1), conforme Figura 6.22.



Figura 6.22 – Ocupação do piso de reentrâncias nos bairros Joaquim Pedrosa (A), Indaiá (B), Olga Corrêa Prates (C) e Bela Vista (D) correspondentes respectivamente eixos de crescimento B, C, E1 e N1 da Figura 6.21. Tais expansões no setor oeste da cidade provavelmente ocorreram durante as décadas de 1980, ou em momento anterior e 1990 (Google Earth Pro, 2018).

Durante as duas últimas décadas, a ocupação das reentrâncias que bordejavam a cidade teve continuidade, mas não se restringiu ao oeste de Teófilo Otoni, alcançando espaços interiores até então não edificadas, como se pode verificar pelos eixos de crescimento Q2, N2 e R3 (figuras 6.20 e 6.23). Estes vetores de crescimento, localizados no norte e nordeste da cidade, configuraram ocupação de reentrâncias moderadamente suscetíveis à ocorrência de escorregamentos, sendo exemplos mais importantes os eixos de crescimento S3, J3, U3 e K3. Os dois primeiros já representam ocupação do piso de reentrâncias altamente suscetíveis a escorregamentos, enquanto os dois últimos parecem apontar tendência de expansão urbana para essas áreas (Figura 6.23).



Figura 6.23 – Eixos de crescimento das duas últimas décadas da cidade de Teófilo Otoni. Nessas imagens têm destaque as reentrâncias dos bairros Ipiranga (A, eixo Q2), Viriato (B, eixo S3), Dr. Laerte Laender (C, eixo J3) e Matinha (D, eixo u3). Fonte: Google Earth Pro (2018).

Ainda que experimentando certa concentração no limite ocidental da área urbana até os anos 2000, espalhando-se para setores orientais da cidade apenas no início do atual

milênio, o crescimento de Teófilo Otoni se configura, basicamente, por eixos bem definidos que se prolongam pelas planícies de inundação ou avançam pelo piso e vertentes das reentrâncias que bordejam a cidade (Figura 6.20). Em geral mais longos do que largos, esses vetores de crescimento urbano denotam certo padrão de expansão “tentacular” de Teófilo Otoni, já observado por Batella (2018), o qual cresceu que:

Durante o final da década de 1970 e toda a década de 1980 até os anos 2000, houve em Teófilo Otoni uma proliferação da ocupação em áreas periféricas, particularmente naquelas impróprias ao uso urbano em função das restrições topográficas do sítio (BATELLA, 2018, P. 801).

De fato, o processo de produção do espaço observado na cidade se caracteriza em muito pela ocupação de encostas desfavoráveis à instalação de aparelhos urbanos, em momentos posteriores à redução da disponibilidade de terrenos nas feições menos declivosas da área investigada. Carvalho *et al.* (2014) consideram que a expansão urbana, especialmente em países subdesenvolvidos, gera ocupação e uso do solo desacompanhados do devido planejamento e da realização dos estudos prévios necessários. Em cenários como estes, predominam “a falta de condições sanitárias mínimas; ausência de serviços indispensáveis à vida das pessoas nas cidades; ocupação de áreas inadequadas; (...) habitações em condições precárias de vida” (VILLASCHI, 2003, p. 166). Retomando as palavras de García-Tornel (1984), esses fatores indicam urbanização que se materializa juntamente com a construção do risco, uma vez que, quando o crescimento urbano avança sobre os entornos das cidades, leva à ocupação de áreas que não apresentam características ambientais favoráveis. Como resultados indesejados deste modelo de urbanização, enchentes e movimentos gravitacionais de massa tornam-se mais frequentes (GARCÍA-TORNEL, 1984).

Estas considerações são pertinentes à tentativa de reconhecer o grau de exposição das populações a escorregamentos em Teófilo Otoni, que se caracterizou, também, pela carência de regulamentação ou controle da ocupação sobre as porções mais restritivas das franjas urbanas, as quais ainda passam por crescente adensamento urbano, em flagrante inobservância da legislação vigente a partir do final da década de 1970 – Lei de Parcelamento do Solo Urbano (Lei Federal nº6.766/1979) ou ao Plano Diretor de Teófilo Otoni (Lei Municipal nº5892/2008). A partir da perspectiva de que este modelo de produção urbano tem em si uma dimensão de construção social do risco⁶⁹, torna-se crucial reconhecer aspectos socioeconômicos das populações que, durante as últimas três

⁶⁹ García-Tornel (1984); Cardona Arboleda (2003); Cardoso (2005) e Vargas (2006), dentre outros.

décadas, ocupam os eixos de crescimento que se direcionam ao interior das reentrâncias mais suscetíveis a escorregamentos da área investigada.

A esse respeito, objetivando compreender o histórico de evolução do tecido urbano de Teófilo Otoni, Batella (2013), compilando informações demográficas do censo de 2010 (IBGE, 2010), elaborou cartografia específica para a cidade, especializando aspectos da sua demografia, infraestrutura de saneamento, ocupação de domicílios e renda da população. De acordo com o interesse deste trabalho, no esforço de compreender as concentrações populacionais e infraestrutura nos diferentes bairros da cidade, foram selecionados os mapas de densidade habitacional, domicílios com abastecimento de água da rede geral, domicílios com banheiro e aspectos da renda (chefes de família com renda inferior a dois salários mínimos), conforme Figura 6.24, A, B e C.

Batella (2013) entende que Teófilo Otoni apresenta elevada concentração populacional nas periferias da cidade, mais precisamente nos setores norte, noroeste e oeste (Figura 6.24 – A), caracterizados por vertentes de elevadas declividades, próximas a reentrâncias altamente suscetíveis a escorregamentos. Acrescenta que a concentração dos domicílios mais populosos, bem como das maiores densidades demográficas nas franjas urbanas de Teófilo Otoni, é tendência já verificável desde o início dos anos 2000 (BATELLA, 2013), sinalizando para um severo adensamento do espaço urbano nessas áreas. De modo semelhante, para o pesquisador, as regiões periféricas de Teófilo Otoni também exibem as menores condições de acesso a estruturas básicas de saneamento (Figura 6.24 – B), assim como concentram as populações de mais baixa renda (Figura 6.24 – C).

Em síntese, explica que Teófilo Otoni possui:

(...) um claro padrão de ocupação do espaço urbano, onde as periferias são mais densamente ocupadas por uma população de baixa renda e que possui menores indicadores de acesso a certas infraestruturas. (...) Configura-se, assim, em um primeiro momento, um patente padrão centro-periferia que se agrava, não é demasiado repetir, pela topografia do sítio urbano (BATELLA, 2003, p. 185).

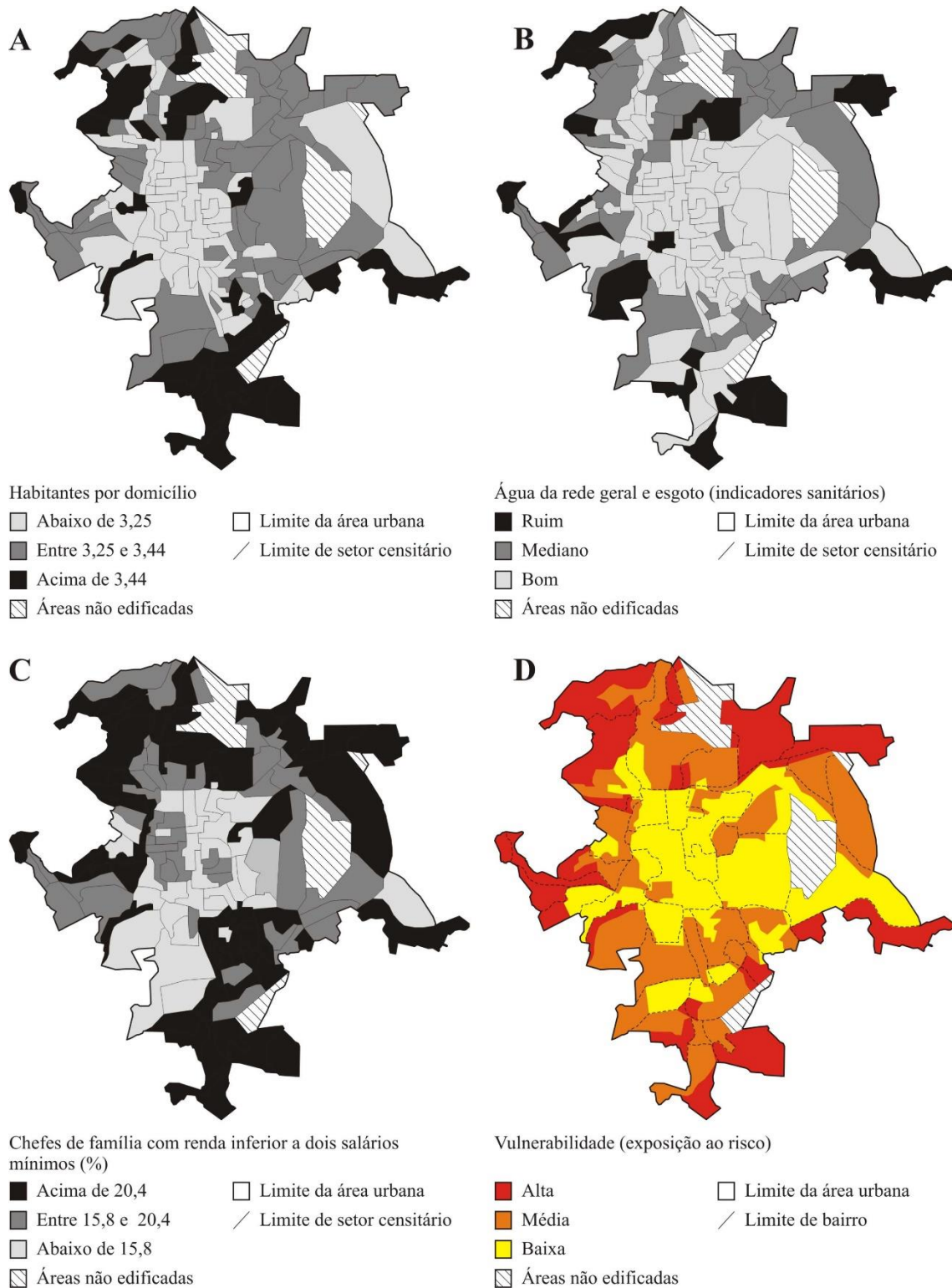


Figura 6.24 – Densidade habitacional (A), distribuição de domicílios com abastecimento de água da rede geral e acesso a esgotamento sanitário (B), e renda (C) elaborados a partir de Batella (2013), de acordo com setores censitários do Censo de 2010 (IBGE, 2010). Compilação desses dados, descrita na metodologia deste trabalho (Capítulo 3), auxilia na percepção do grau de exposição ao risco de escorregamentos na cidade (D).

A mais notável característica socioeconômica que se observa a partir da análise da Figura 6.24, especialmente 6.24 – D, é que em Teófilo Otoni ocorre clara segregação demográfica. As porções centrais da cidade são caracterizadas pelas melhores condições de acesso a serviços básicos, ao passo que os setores periféricos, ocupados pelas populações de baixa renda, exibem forte concentração populacional em cenário de infraestrutura precária.

Cabe ressaltar que, conforme debatido anteriormente, as áreas periféricas da cidade de Teófilo Otoni, notadamente o seu flanco ocidental, têm padrão de desenvolvimento marcado por eixos de expansão que se ramificam para áreas altamente restritivas à ocupação. Considerando-se, assim, a avaliação da vulnerabilidade como construída a partir da exposição ao risco; incapacidade de reação; e dificuldade de adaptação diante da materialização do risco (MOSER, 1998), pode-se assumir que, em certa medida, a expansão urbana de Teófilo Otoni se alia à exposição de populações aos elementos que a ela representam perigo, quer pelas características dos terrenos ocupados, quer pela natureza da ocupação. Essas informações, devidamente espacializadas, têm potencial para auxiliar no reconhecimento das condições em que se desenvolveram estes setores da cidade, os quais refletem carências sociais do modelo de produção do espaço (EGLER, 1996).

Assim, o cenário que se apresenta reflete o grau potencial de exposição dessas populações a escorregamentos, não apenas pelo adensamento das franjas urbanas, mas pela precarização da sua ocupação. Isso se manifesta no alegado padrão centro-periferia de crescimento urbano (Figura 6.24 – D), no qual as condições socioeconômicas refletem a fragilidade ou capacidade de enfrentar os riscos. Cunha *et al.* (2006) reforçam o enfoque da vulnerabilidade por meio da apreensão dos fatores que tornam indivíduos e famílias vulneráveis em maior ou menor grau, os quais contribuem para um empobrecimento da qualidade de vida das populações. Nessa abordagem, a vulnerabilidade se relaciona ao conjunto de fatores que tornam pessoas, famílias ou mesmo domicílios mais ou menos capazes de enfrentar os riscos existentes no seu entorno, os quais podem levar à perda da segurança e bem-estar (BUSSO, 2001). Nesse aspecto, dimensões desse arranjo socioeconômico está sintetizado junto à Figura 6.25, com auxílio da qual foi possível caracterizar o risco a escorregamentos hoje existente na cidade de Teófilo Otoni, além de possíveis consequências da continuidade desse modelo de produção do espaço urbano, nesse trabalho entendido como risco potencial.

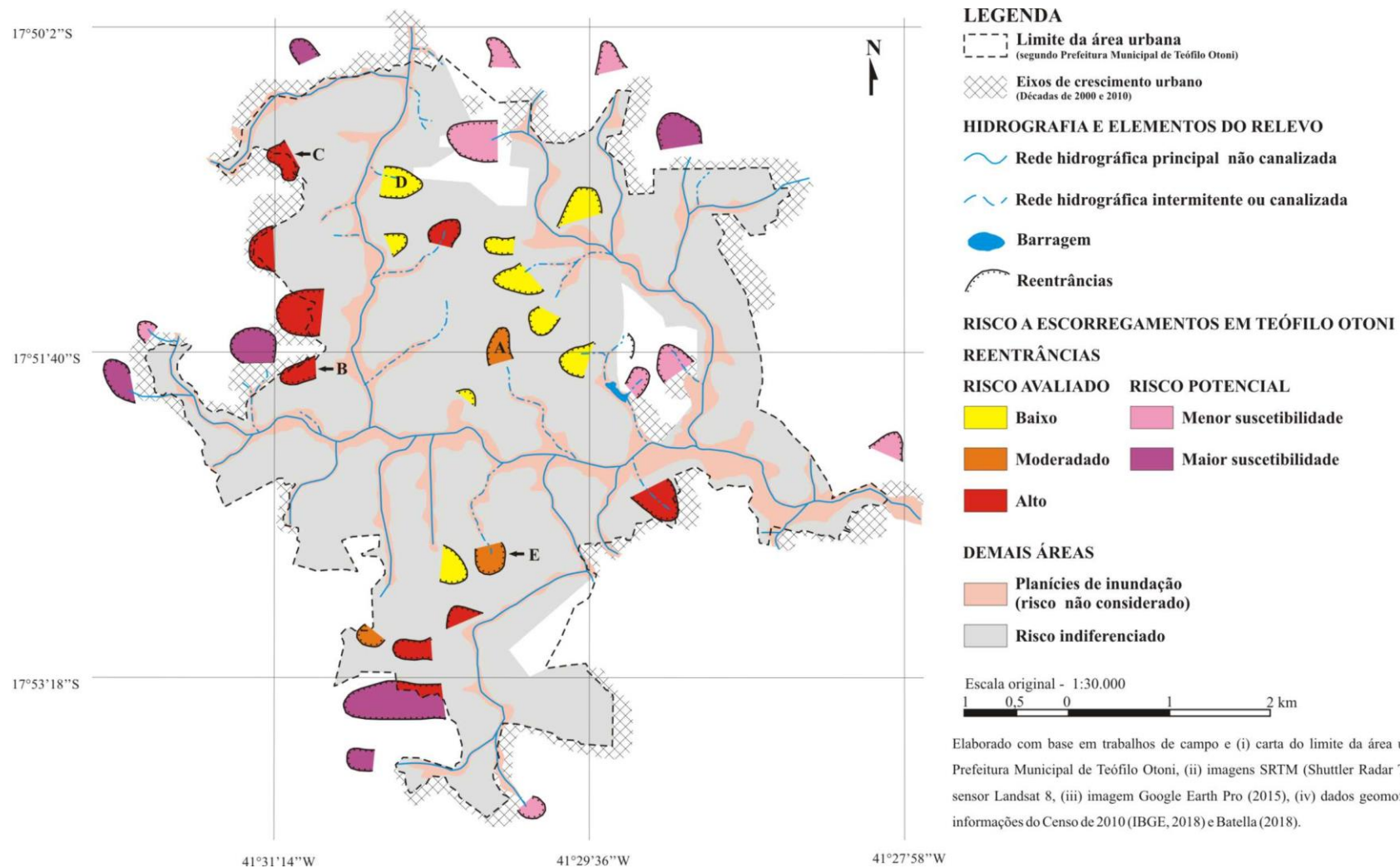


Figura 6.25 – Mapa de risco a escorregamentos de Teófilo Otoni – uma aproximação. As letras significam, respectivamente, os bairros: A – Altino Barbosa, B – Frei Dimas/Viriato, C – Joaquim Pedrosa, D – Bela Vista e E – Manoel Pimenta.

Em alguma medida, a avaliação de risco assume um caráter espaço-temporal, a partir (i) da interpretação de que as mais importantes áreas de risco a escorregamentos na cidade de Teófilo Otoni, nos setores noroeste, sudoeste e sudeste da mancha urbana, são frutos de ocupação recente e ainda atual e (ii) das tendências de continuidade do modelo vigente, o qual apresenta vetores de crescimento que aproximam o limite da área urbana às reentrâncias ainda não ocupadas pela cidade (Figura 6.25).

No interior do tecido urbano predominam setores compreendidos como áreas de baixo ou médio risco a escorregamentos, motivo pelo qual, possivelmente, a despeito do contexto geomorfológico e climático, não tenha sido verificado significativo histórico de escorregamentos em Teófilo Otoni. Apenas em uma reentrância, no eixo norte da cidade, e outras duas a sudoeste, considerou-se alto risco a escorregamentos, estando as demais localizadas nos limites da mancha urbana (Figura 6.25). A reentrância Santa Clara, no prolongamento oriental da cidade, à margem direita do Rio Todos os Santos, é exemplo que ilustra ricamente a ocupação recente de piso de reentrância, configurando área de alto risco a escorregamentos (Figura 6.25).

A esse respeito, abre-se uma importante observação: dentre as áreas indicadas pela CPRM como aquelas em que há riscos a escorregamentos no interior da cidade de Teófilo Otoni, aquelas situadas nos bairros Altino Barbosa, Bela Vista, Manoel Pimenta, Eucalipto, Frei Dimas e Joaquim Pedrosa (Figura 6.25), merecem atenção especial. Esse olhar mais atento a tais setores se justifica uma vez que, mesmo utilizando-se métodos distintos de abordagem da temática, há concordância de resultados entre este e aquele trabalho, reforçando a necessidade de pesquisas futuras, em escala de detalhamento, as quais abordem as possíveis influências que as formas de assentamento urbano eventualmente exerçam sobre a deflagração de escorregamentos.

No tocante ao risco potencial, trata-se de perspectivas futuras, visto que não se objetiva determinar o risco pertinente à ocupação daquelas reentrâncias próximas aos atuais eixos de expansão urbana. Isso decorre do desconhecimento dos padrões de ocupações que poderão ocorrer, bem como da incapacidade de se avaliar as populações que poderão ocupar estas áreas, ainda que fosse possível se projetar as mesmas condições observadas nas periferias da cidade. Por outro lado, entende-se que é pertinente considerar que, em um histórico de sistemática construção do risco, alguns dos eixos de crescimento de Teófilo Otoni parecem repetir os erros

de décadas anteriores, cujo padrão tentacular de expansão ainda exhibe vetores orientados para o interior de reentrâncias suscetíveis a escorregamentos.

Esse cenário está em desacordo com o Plano Diretor de Teófilo Otoni, o qual preconiza, em seu Artigo 1º, § 2º, parágrafo III “o aproveitamento e a utilização da propriedade compatíveis com a segurança e a saúde dos usuários e dos vizinhos”. A mesma Lei determina, em seu Artigo 13º, parágrafo II, a “definição de graus diferenciados de estudos exigidos para a aprovação de projetos para áreas de risco significativo”, além da “definição de tipologias urbanísticas e arquitetônicas compatíveis com o risco” (TEÓFILO OTONI, 2008, s.p.).

No primeiro caso, com ênfase na ocupação do piso e das vertentes das reentrâncias interiores ou limítrofes à área urbana, é imperativa reflexão a respeito de como tais áreas poderiam (ou não), em função das suas características morfológicas e pedológicas, ser ocupadas resguardando a saúde dos usuários e dos vizinhos. A julgar pela suscetibilidade natural a escorregamentos verificada nessas feições, parece plausível assumir que o cumprimento da legislação vigente não foi efetivo quanto à definição e elaboração dos estudos prévios para as áreas de “risco significativo” – mesmo que entre este trabalho e o Plano Diretor de Teófilo Otoni possam existir interpretações distintas para o conceito de risco. Finalmente, é oportuno o momento anterior à ocorrência de significativos escorregamentos no interior da mancha urbana, os quais podem gerar danos materiais severos e perda de vidas humanas, para a “definição de tipologias urbanísticas e arquitetônicas compatíveis com o risco”, fazendo-se indispensável a determinação, via dispositivos legais, dos riscos existentes.

CAPÍTULO 7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Inundações, alagamentos e escorregamentos são fenômenos que ocorrem em Teófilo Otoni, reconhecidos por meio da atuação da imprensa, ou averiguáveis nos registros das corporações de segurança, alguns deles também verificáveis em campo e imagens de satélite. Os dois primeiros apresentam considerável recorrência, registrados em todos os anos da série histórica de dados do Corpo de Bombeiros e Polícia Militar (2011 a 2015) e, anteriores a este período, anotados pela mídia local e estadual, que se referiram especialmente aos danos decorrentes das inundações de 2002. Não se verificou, ao longo da elaboração deste trabalho, quaisquer dificuldades em atestar inundações e alagamentos na cidade, embora acervo qualificado e sistematizado dos dados que permitam reconstituir mais prolongado histórico possa ser considerado insatisfatório. Os escorregamentos, por sua vez, estiveram associados a evento pluviométrico extremo identificado na série histórica avaliada e ocorreram majoritariamente nas reentrâncias das unidades de relevo de mais elevada declividade da área investigada, para além dos limites da mancha urbana de Teófilo Otoni. Por essa razão, possivelmente, menor atenção tem sido dada ao fenômeno na cidade, o qual se confunde com quaisquer transportes de materiais nas vertentes durante chuvas concentradas. Não parece exagero considerar que a percepção do risco é vaga e imprecisa para a população, para a mídia e, ao que tudo indica, para os gestores públicos municipais.

Na cidade, volumes pluviométricos elevados podem ser considerados gatilhos para inundações e alagamentos, uma vez que ocorrem mediante concentrações de chuvas iguais ou superiores a 100mm, em período máximo de 24 horas. Cabe ressaltar que este olhar não deve ser voltado apenas ao passado, pois os dados avaliados indicam aumento da ocorrência de eventos de chuvas concentradas nas últimas duas décadas da série histórica, o que sugere perspectivas futuras que devem ser seriamente ponderadas. Constatou-se que a vazão do Rio

Todos os Santos está intimamente associada às flutuações do regime pluviométrico e é afetada pela impermeabilização dos solos que resultou, ao menos nos últimos 20 anos, no aumento da participação do escoamento superficial na composição do seu deflúvio total. Nesse cenário, a tendência é que inundações e alagamentos permaneçam como fenômenos recorrentes no curto ou médio prazo em Teófilo Otoni, caso medidas preventivas não sejam adotadas para adequar os sistemas de drenagem urbana, especialmente nas porções mais a jusante do Rio Todos os Santos, como ilustram as constantes inundações que afetam o bairro Vila São João.

Parece também incontestável que o histórico de inobservância das potencialidades e limitações do sítio de ocupação, que se perpetua no tempo e no espaço, esteja intimamente associado às causas de inundações em outros setores da cidade. Quer pela ocupação de áreas impróprias, quer pela carência de planejamento da expansão urbana, a fixação de moradores às margens de canais fluviais hoje configura áreas de risco de inundações, especialmente no trecho setentrional do Rio Santo Antônio, sem deixar de citar importante setor às margens do Rio São Jacinto, no bairro homônimo.

É oportuno mencionar que em abril de 2012 a Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA inaugurou barragem a montante de Teófilo Otoni, a oeste da área investigada⁷⁰. Segundo a empresa, um dos benefícios do empreendimento seria a regularização da vazão do Rio Todos os Santos, o que evitaria a ocorrência de inundações na cidade. Contudo, em novembro de 2012 ocorreu uma das mais severas inundações registradas em Teófilo Otoni, ainda durante o período de acumulação do reservatório. Durante este evento, a vazão do Rio Todos os Santos se elevou e atingiu planícies de inundação edificadas, especialmente no bairro Vila São João, sendo registradas 13 diligências para salvamento pelo Corpo de Bombeiros e Polícia Militar apenas naquele bairro. Pode ser ainda prematuro determinar que os resultados esperados pelos responsáveis pelo projeto e execução da barragem não foram alcançados, mas os dados demonstram que inundações ocorrem mesmo após a inauguração do empreendimento, possivelmente em função das características do relevo, da ocorrência de eventos de elevada precipitação, da impermeabilização dos solos, da ineficiência das estruturas de drenagem e das alterações diretas promovidas nos cursos d'água.

⁷⁰ Disponível em: http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/imprensa/noticias/releases/2012/abril/destaque-20120416-ie2359!/ut/p/a0/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfGjzOJ9DLwdPby9Dbz8gzdzDBY9g_zd_T2dgvx8zfULsh0V_Afwq3lw! (COPASA, 2015).

Os alagamentos avaliados, por sua vez, derivam da abertura de loteamentos e da edificação nas cabeceiras de drenagem posicionadas em reentrâncias que configuram microbacias alveolares no interior da cidade. Estes alagamentos afetam áreas de recente ocupação e também bairros cujo histórico remonta às últimas décadas do século passado. Em ambos os casos, a redução da capacidade de infiltração dos solos nas encostas promoveu aumento e concentração do escoamento dos fluxos superficiais de chuva para planícies fluviais, também impermeabilizadas, nas quais cursos d'água canalizados não possibilitam o fluxo do escoamento superficial direto, avultando os danos decorrentes de alagamentos.

O crescimento urbano de Teófilo Otoni, especialmente a partir do final da década de 1990, caracterizado por desfragmentação espacial das células desconexas que até então compunham a cidade, ocorreu, nos seus momentos iniciais, nas unidades de relevo menos restritivas à ocupação civil. A partir dos anos 2000, por outro lado, novos eixos de espalhamento tentacular da cidade se direcionaram para vertentes de declividade mais acentuada, em alguns casos para o interior de reentrâncias, contexto no qual os escorregamentos foram reconhecidos. Estas feições se mantinham inalcançadas pela urbanização, mas uma vez anexadas ao modelo de produção do espaço urbano podem indicar um novo contexto de ocupações inapropriadas, inaugurando a ocorrência dos até então incomuns escorregamentos no interior da cidade. Além disso, não se sabe, ainda, como as pressões sobre os solos e formações superficiais existentes nestas novas fronteiras de ocupação afetarão a estabilidade das vertentes, já naturalmente suscetíveis a escorregamentos.

Vale a pena refletir sobre outro importante agravante que se verifica naqueles novos setores de expansão urbana: a segregação social e populacional marcante de Teófilo Otoni faz com que se desenhe um cenário alarmante, pois justamente nas periferias da cidade, muitas das quais coincidentes com eixos de crescimento, residem as populações mais carentes de infraestrutura básica e com menor renda. Estes setores também apresentam as mais elevadas densidades de ocupação territorial da cidade. O recente cenário promoveu, portanto, a fixação de populações vulneráveis em feições de mais alta suscetibilidade a escorregamentos. A dinâmica de ocupação dessas áreas sugere, ainda, a existência de eixos ou vetores de crescimento que se projetam para o interior de reentrâncias nas quais escorregamentos ocorreram em passado recente, indicando perspectivas futuras que requerem atenciosa atuação dos gestores públicos municipais. Loteamentos ultimamente inaugurados, como aquele verificado no bairro Dr. Laerte Laender, ou a ocupação do piso da reentrância adjacente ao bairro Santa Clara, como exemplo, dão a medida das tendências verificadas em Teófilo Otoni,

no que diz respeito à continuada produção de riscos a inundações, alagamentos e escorregamentos.

Há ainda que se apontar fragilidade ao se afirmar que a menor frequência de escorregamentos no interior dos limites da cidade, se comparada às ocorrências de inundações e alagamentos, deva ser interpretada como indicador da inexistência do risco. Não parece exaustivo reafirmar que cidade se desenvolveu, inicialmente, sobre contexto geomorfológico menos desfavorável à ocupação, posteriormente se voltando para as vertentes das áreas mais declivosas, as quais ainda foram pouco alteradas – o que justifica a predominância de baixo ou moderado risco a escorregamentos na área urbana, exceção aos seus setores ocidental e meridional. Por outro lado, nos limites da cidade o panorama é distinto, uma vez que, especialmente no noroeste de Teófilo Otoni, predominam áreas de alto risco a escorregamentos. Nesse sentido, à luz deste trabalho, soa como mera especulação afirmar que, uma vez que os escorregamentos ocorreram mais além dos limites da área urbana, o modelo de urbanização adotado indica que a expansão da cidade tem sido bem-sucedida ao evitar ou minimizar a ocorrência dos fenômenos. Não foram verificadas quaisquer evidências que pareçam suportar tal hipótese. Ao contrário, crescimento urbano desacompanhado de medidas eficazes para o planejamento do uso e ocupação do solo e obras de infraestrutura significaram, até então, estabelecimento de populações vulneráveis a escorregamentos em áreas altamente suscetíveis ao fenômeno, produzindo o risco e, possivelmente, ampliando condições para potencializá-lo no futuro.

A avaliação proposta, que em muito se utiliza de indicadores geomorfológicos, permite identificar não apenas a continuada construção sistemática dos riscos, mas também apontar os vetores de espalhamento tentacular do crescimento urbano que se projetam para as áreas mais restritivas à ocupação. Estão fartamente demonstrados exemplos de expansão da cidade em direção às unidades de relevo potencialmente fragilizáveis pela edificação da cidade, bem como a manutenção da produção do espaço urbano em planícies de inundações, reproduzindo erros pretéritos que se projetam em negativas perspectivas, no curto e médio prazo. Estes apontamentos devem ser considerados pelos gestores públicos, no sentido de proposição de um uso e ocupação do solo que melhor se adeque as potencialidades e limitações do sítio de ocupação sobre o qual Teófilo Otoni se desenvolveu e pode expandir.

Apresentar considerações finais de um trabalho acadêmico não é, de modo algum, encerrar as discussões sobre o problema em tela, especialmente quando se esbarrou em relativa

carência de pesquisas anteriores capazes de subsidiar ou mesmo orientar a sua elaboração. Os mapas de risco aqui apresentados devem ser interpretados como uma proposta inicial ou primeira aproximação, mas possuem a relevância de sistematizar espacialmente informações de interesse dos gestores municipais e demais atores de produção do espaço urbano. Abrem caminho para novos esforços, tanto no sentido de melhor compreensão da dinâmica dos fenômenos, quanto na localização dos setores de sua ocorrência, cujos condicionantes estão identificados. É aceitável considerar que os resultados alcançados mereçam atenção especial por parte do Poder Público Municipal no norteamo de suas diretrizes, políticas e ações de planejamento do espaço urbano sob sua gerência. Entende-se aqui que a contribuição para o ordenamento territorial oferece novas perspectivas para o direcionamento de propostas que visem a mitigação dos condicionantes dos riscos e da determinação de ações que assegurem uma produção do espaço concordante com as limitações e potencialidades do sítio de ocupação no qual Teófilo Otoni se desenvolveu. Ao identificar lacunas de planejamento e apontar desacertos na atuação histórica dos gestores públicos e demais atores da formação da cidade, muito mais se propôs reflexões do que se atribuiu responsabilidades.

Em termos de exame dos avanços alcançados, é oportuno considerar que muitas questões merecem investigações continuadas, algumas delas levantadas a partir dos resultados deste trabalho, outras como consequência daquilo que permaneceu em aberto. Pesquisas em escalas de mais refinado detalhamento deverão auxiliar na compreensão da influência dos distintos padrões e aspectos da ocupação da cidade, como geometria do arruamento, dimensionamento de galerias pluviais, execução de taludes, construção de aterros ou canalização de cursos d'água, para a ocorrência de inundações, alagamentos e escorregamentos, principalmente no interior dos limites da área urbana. A determinação de perfis socioeconômicos e culturais mais precisos das populações vulneráveis aos fenômenos pode mensurar a resiliência ou a capacidade de enfrentamento das realidades com as quais convivem. Acompanhamento e monitoramento da expansão da cidade, notadamente naqueles setores em que o espaço urbano se projeta para o interior de reentrâncias e sobre as vertentes mais declivosas do sítio de ocupação, facilitariam o entendimento dos reflexos da urbanização para a instabilidade das encostas.

Com razoabilidade, acredita-se que, como das mais importantes contribuições deste trabalho, esteja também o apontamento para a continuidade das pesquisas, seja no contexto da própria ciência geográfica ou mesmo em áreas afins, desde que se voltem para Teófilo Otoni como objeto de estudo e produzam acervo de informações determinantes para a transformação pelo caminho do conhecimento. Parece razoável esperar que as contribuições da análise de

indicadores geomorfológicos possam colaborar na ruptura da histórica produção sistemática dos riscos socioambientais em Teófilo Otoni, assim como na implementação de um modelo racional e eficaz de reconstrução urbana.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. A Serra do Mar na região de Cubatão: avalanches de janeiro de 1985. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA: Síntese dos Conhecimentos, 1987, Cananeia. [Transcrições]. São Paulo: Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1987. v. 2, p. 74-116.
- AFONSO, A. E.; SILVA, T. M. As representações das formas de relevo: uso de mapas topográficos em Geomorfologia. In: AFONSO, A. E. *et al.* **Geomorfologia Geral**. Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2013. v. 1, cap. 5, p. 123-155.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, (Brasil). **HidroWeb**: sistemas de informações hidrológicas. Brasília: ANA, 2015. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>>. Acesso em: 31 maio 2017.
- ALCÁNTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. **Geomorphology**, Cambridge: Elsevier, v. 47, n. 2/4, p. 107-124, oct. 2002. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X02000831>>. Acesso em: 31 maio 2017.
- ALHEIROS, M. M. (Coord.). **Manual de ocupação dos morros da região metropolitana de Recife**. Recife: FIDEM, 2004. 245 p.
- ALMEIDA, L. Q. de; CARVALHO, P. F. de. Representações, riscos e potencialidades de rios urbanos: análise de um (des)caso histórico. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 11, n. 34, p. 145-161, jul. 2010. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15918>>. Acesso em: 31 maio 2017.
- ALMEIDA, R. A. **Modelagem hidrológica na Bacia do Rio Mucuri com a utilização do modelo SWAT**. 2016. 112 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016. Disponível em: <<http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/10384/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 31 maio 2017.
- ALMEIDA, R. A.; PINTO, D. B. F.; PRIMO, D. F.; SENA, F. R.; SANTOS, D. M. ANÁLISE ESPACIAL E TEMPORAL DAS CHUVAS MÉDIAS MENSAS E ANUAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MUCURI. **Revista Engenharia na Agricultura**. Viçosa, V.26, n.04, p.370-382, 2018.
- ALVES, H. P. da F. Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise sociodemográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais. **Rev. bras. de estudos de População**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 43-59, jan./jun. 2006.
- AMARAL, C. M. **Análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego Matirumbide em Juiz de Fora-MG**. 2013. 88 f. Monografia (Gradação em Geografia) – Curso de Geografia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

AMARAL, C. M.; REIS, C. H. Suscetibilidade a escorregamentos e inundações: hierarquização dos graus de riscos na área urbana de Viçosa-MG. **Revista da Anpege**, [S.l.], v. 13, n. 21, p. 199-219, maio/ago. 2017. Disponível em: <<http://ojs.ufgd.edu.br/index.php/anpege/article/view/6948/3882>>. Acesso em: 21 maio 2018.

AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. Inundações e enchentes. In: TOMINAGA, L. D.; SANTORO, J.; AMARAL, R (Org.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. cap. 3, p. 39-52.

ANDRADE FILHO, A. G; SZÉLIGA, M. R.; ENEMOTO, C. F. Estudo de medidas não estruturais para controle de inundações urbanas. **Publicatio UEPG**. [S.l.], v. 6, n. 1, p. 69-90, 2000. [Online]. Disponível em: <<http://www.revistas2.uepg.br/index.php/exatas/article/view/747/664>>. Acesso em: 31 maio 2017.

ANDRADE, E.; BROLLO, M. J.; SILVA, P. C. F. da; PENTEADO, D. R.; SANTORO, J.; RIBEIRO, S. F.; GUEDES, A. C. M.; BRAGA, E. S. Campos Do Jordão (SP): mapeamento de perigos e riscos de escorregamentos e inundações no bairro de Vila Albertina, como subsídio à gestão de riscos. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 14, 2015, Campos do Jordão. **Anais eletrônicos...** Campos do Jordão: Instituto Geológico, 2015.

ANEAS DE CASTRO, S. D. Riesgos y peligros: una visión desde lá Geografía. **Scripta Nova**, Barcelona: Universidad de Barcelona, n. 60, mar. 2000. Disponível em: <<http://www.ub.es/geocrit/sn-60.htm>>. Acessado em: 08 ago 2017.

ARAKI, R. **Vulnerabilidade associada a precipitações e fatores antropogênicos no município de Guarujá (SP)** - Período de 1965 a 2001. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/286922>>. Acesso em: 21 abr. 2018.

ARAÚJO, E. P. **Aplicação de dados SRTM à modelagem da erosão em microbacias por geoprocessamento**. 2006. 88 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006. Disponível em: <<http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2006/08.25.13.19/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2018.

ASSIS, W. L., PARIZZI, M. G.; RIBEIRO, S. M. Identificação dos sistemas atmosféricos responsáveis por inundações e deslizamentos no município de Belo Horizonte: análise dos períodos chuvosos de 2011-2012 e 2012-2013. **Geografias**, Belo Horizonte, v. 9, n. 2, p. 38-55, 2013.

AUGUSTO FILHO, O. Escorregamentos em encostas naturais e ocupadas: análises e controle. In.: BITAR, O. Y. **Curso de geologia aplicada ao meio Ambiente**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia/Instituto de Pesquisas de Tecnológicas, 1995, p. 77-100.

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1, 1992, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/PUC-RJ, 1992. v.2, p.721-733.

AUGUSTO FILHO, O. **Cartas de risco de escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ihabela, SP.** 1994. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994. Disponível em: <<https://bdpi.usp.br/item/000908543>>. Acesso em: 20 jan. 2018.

AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J. C. Estabilidade de Taludes. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Ed.). **Geologia de Engenharia**, São Paulo: ABGE, 1998, p. 243-269.

BARAGON, R. Chuva recorde mata 12 em Teófilo Otoni, Minas Gerais. **Folha de São Paulo**. Belo Horizonte, 4 fev. 2002. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u45312.shtml>>. Acesso em: 5 jul. 2017.

BARRETO, N. R. **Modelo de mecanismo de ruptura da vertente pelas discontinuidades hidráulicas em latossolo no sítio urbano de Santa Teresa/ES.** 2016. 127 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016. Disponível em: <http://repositorio.ufes.br/bitstream/10/9323/1/tese_10116_NARA%20RODRIGUES.pdf>. Acesso em: 2 set. 2018.

BARROS; P. L. A. **Análise e Dimensionamento de Muros de Arrimo de Gabiões.** São Paulo: GCP, 1992.

BARROSO, F.; SANTOS, F. A.; SILVA, G. N. N.; ALVES, J. H.; COLARES, L. F.; JARDIM, R. L. F.; FERRAZ, C. M. L.; BARBOSA, F. A. Estudo de caso de movimentos gravitacionais de massa na Rua Manoel Ramos de Souza e Avenida Agnaldo Neiva, na cidade de Teófilo Otoni- MG. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 11, 2016, Maringá. **Anais...** Maringá: UGB, 2016. v.1. Disponível em: <<http://www.sinageo.org.br/2016/trabalhos/8/8-431-1053.html>>. Acesso em: 29 set. 2017.

BARROSO, L. C.; BARROSO, M. M. A. Teófilo Otoni e demais municípios do Vale do Mucuri/Brasil: Uma abordagem Interdisciplinar. **Revista Iberoamericana de Sistemas, Cibernética e Informática**, [S.l.], v. 11, p. 1-7, 2014. Disponível em: <[http://www.iiisci.org/journal/CV\\$/risci/pdfs/CA498QK14.pdf](http://www.iiisci.org/journal/CV$/risci/pdfs/CA498QK14.pdf)>. Acesso em: 06 jul. 2017.

BASTOS, C. A. B. **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados.** 1999, 251 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2978/000242000.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 31 maio 2017.

BATEIRA, C.; ABREU, J. Os problemas da cartografia dos riscos naturais. Contributos para a definição da susceptibilidade geomorfológica a partir da observação de vários movimentos de vertente ocorridos no Norte de Portugal. **Territorium**, Coimbra, v. 10, p. 69-88, 2003. Disponível em: <<http://web.letras.up.pt/dynat/PDF/Os%20problemas%20da%20cartografia%20dos%20riscos%20naturais.pdf>>. Acesso em: 18 jul. 2017.

BATELLA, W. B. **Os limiares das cidades médias: reflexões a partir da cidade de Teófilo Otoni.** 2013. 228 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia,

Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2013. Disponível em:
<<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/105083?show=full>>. Acesso em 12 abr. 2017.

BATELLA, W. B. Estruturação urbana de Teófilo Otoni/MG: a topografia social de uma cidade média no Vale do Mucuri. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 28, n. 54, p. 793-811, 2018. Disponível em:
<<http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/17768>>. Acesso em: out. 2018.

BENEDET, C. **Análise dos processos de movimentos gravitacionais de massa nas encostas dos bairros Prado e Saudade...** 2015. 285 f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. Disponível em:
<<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/171993>>. Acesso em: 05 maio 2017.

BERTONE, P.; MARINHO, C. Gestão de riscos e respostas a desastres naturais: a visão do planejamento. In.: CONGRESSO CONSAD DE GESTÃO PÚBLICA, 6, 2013, Brasília. **Anais...** Brasília: CONSAD, 2013. p. 1-24. Disponível em:
<<http://www.sgc.goias.gov.br/upload/arquivos/2013-12/gestao-de-riscos-e-resposta-a-desastres-naturais.pdf>>. Acesso em: 13 de jul. de 2017.

BERTONI, J. (Coord.). **Conclusões gerais das pesquisas sobre conservação do solo no Instituto Agrônomo**. Campinas: IAC, 1972. 55 p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba: Livroceres, 1985. 392 p.

BEZ, A.; LISBOA, H.M.; CARDOSO, A.; MELO, E.; NASCIMENTO, G.A.; UMEZAWA, P.K. JORDEN, V. (1999). **Subsídios para o plano diretor de drenagem da bacia do Itacorubi**. UNICOB, Florianópolis, 27p.

BIERMAN, P. R.; MONTGOMERY, D. R. Hillslope. In: **Key Concepts in Geomorphology**. W. H. Freeman and Company Publishers. New York, p.145 – 178, 2014.

BIGARELLA, J. J.; PASSOS, E.; **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. 2. ed. Florianópolis: UFSC, 2003. v. 3, 1436 p.

BIGARELLA, J.J., MOUSINHO, M.R. Considerações a respeito dos terraços fluviais, rampas de colúvio e várzeas. **Bol. Paranaense de Geociência**, Curitiba, v. 16, n. 17, p. 153-197, jul. 1965.

BINDA, A. L.; BUFFON, E. A. M.; FRITZEN, M. Análise espaço-temporal dos casos de inundações e de alagamentos registrados na cidade de Chapecó-SC (1980-2010). **Revista RAEGA**, Curitiba, v. 26, p. 35-50, 2012. Disponível em:
<<http://revistas.ufpr.br/raega/article/view/30040/19424>>. Acesso em: 31 maio 2017.

BISPO, P. C.; ALMEIDA, C. M. de; VALERIANO, M. de M.; MEDEIROS, J. S. de; CREPANI, E. Avaliação da suscetibilidade aos movimentos de massa na região de São Sebastião - SP com o uso de técnicas de geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2011, Natal. **Anais...**, São José dos Campos: INPE, 2011. p. 3583-3590.

BLOCH, R.; JHA, A.K.; LAMOND, J. **Cities and flooding**: A guide to integrated urban flood risk management for the 21st century. Washington: **World Bank**, 2012. 638 p. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10986/2241>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

BLOOM, A. **Superfície da Terra**. São Paulo: Edgard Blücher, 1970. 184 p.

BOTELHO, R. G. M. Bacias Hidrográficas Urbanas. In: GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, cap. 3, 2011.

BRAGON, R. Chuva recorde mata 12 em Teófilo Otoni, Minas Gerais. **Folha de São Paulo**, Belo Horizonte, 04 fev. 2002. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u45312.shtml>>. Acesso em: 12 fev. 2018.

BRANDÃO, A. M. P. M. As chuvas e a ação humana: uma infeliz coincidência. In: ROSA, L. P.; LACERDA, W. A. **Tormentas Cariocas**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1997. p. 21-38.

BRASIL. Congresso Nacional. **Lei n. 6.766, de 19 de dezembro de 1979**. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, 20 dez. 1979.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil **Manual de desastres humanos**: desastres humanos de natureza tecnológica. Brasília, 2003. v. 1, 452 p. Disponível em: <<http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/min000004.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2018.

BRASIL. Ministério das Cidades. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios**. Brasília, 2007. 176 p. Disponível em: <https://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/Biblioteca/PrevencaoErradicacao/Livro_Mapeamento_Enconstas_Margens.pdf>. Acesso em: 7 jul. 2017.

BROOKFIELD, H. Environmental damage: distinguishing human from geophysical causes. **Environmental hazards**: Human and Policy Dimensions, [S.l.], v.1, n.1, p. 3-11, jun. 1999.

BURTON, I.; KATES, R. W.; WHITE, G. F. **The environment as hazard**. New York: Oxford University, 1978. 240 p. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000117&pid=S1414-753X200400020000600003&lng=en>. Acesso em: 09 ago. 2017.

BUSSO, G. **La vulnerabilidad social y las políticas sociales a inicios del siglo XXI: una aproximación a sus potencialidades y limitaciones para los países latinoamericanos**. Santiago do Chile: CEPAL/CELADE, 2001.

BUSTAMANTE, T. G. C. **Impactos da chuva na ocorrência de deslizamento de terra e inundações no Estado de São Paulo**. 2010. 106 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.

CAMPOS, P. M.; LACERDA, M. P. C.; PAPA, R. de A.; GUIMARÃES, E. M.; COSTA NETO, S. F. de. Difractometria de raios-X aplicada na identificação de gibbsita e caulinita em latossolos do Distrito Federal. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SAVANAS TROPICAIS

2; SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO, 9, 2008, Brasília. **Anais...** Brasília: Embrapa, 2008. [não paginado].

CARDONA ARBOLEDA, O. D. **Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos**. 2001. 300 f. Escola Tècnica Superior D'Enginyers de Camins, Canals i Ports, Univertat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2001.

CARDONA ARBOLEDA, O. D. The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: a necessary review and criticism for effective risk management. In.: BANKOFF, G.; FRERKS, G.; HILHORST, D. (Ed.). **Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People**. Londres: Eartscan Publishers, 2003. cap. 3.

CARDOSO, A. L. A construção social do risco ambiental em uma favela do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Ippur/UFRJ, 2005.

CARDOZO, F. da S.; HERRMANN, M. L. de P. Uso da técnica AHP no mapeamento de áreas suscetíveis a escorregamentos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 4134-4141.

CARMO, L. R. Urbanização e desastres: Desafio para a segurança humana no Brasil. In: CARMO, L. R.; VALENCIO, N. (Org.). **Segurança Humana no contexto dos Desastres**. São Carlos: Rima, 2014. cap. 1, p. 1-14.

CARNEIRO, P. R. F.; MIGUEZ, M. G. **Controle de inundações em bacias hidrográficas metropolitanas**. São Paulo: Annablume, 2011. 300 p.

CARVALHO, J. C. D. de; GITIRANA JUNIOR, G. de F. N.; CARVALHO, E. T. L.; LUZ, M. P.; SILVA, J. P. da; GUJÃO, C. M. C. Enchentes, Alagamentos e Inundações: Causas, Consequências e Soluções. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 17, 2014, Goiânia. **Anais....** Goiânia: COBRANSEG, 2014. [não paginado]. Disponível em: <https://www.abms.com.br/links/bibliotecavirtual/cobramseg/2014/599581_80_Enchentes_Alagamentos_e_Inundacoes.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2017.

CASSETI, W. **Geomorfologia**. [S.I.]: FUNAPE, 2005. Disponível em <<http://funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: 20 jan. 2016.

CASTRO, A. L. C. **Manual de desastres**. Brasília: Ministério da Integração Nacional/ Secretaria Nacional de Defesa Civil, 2003. v.1, 174 p.

CASTRO, A. O. C.; DIAS, L.R. Urbanização e a problemática socioambiental na baixada de Jacarepaguá: estudo da bacia hidrográfica do Rio das Pedras. In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 17, 2017, Campinas. **Anais...** Campinas: Instituto de Geociências, 2017. v. 1, p. 687-698.

CEMIN, G.; FINKLER, R.; FINOTTI, A. R.; SILVA, M. D. **Monitoramento de recursos hídricos em áreas urbanas**. Caxias do Sul: EDUCS, 2009. 270 p.

CÉRDAN, N.G. de. Articulación del ordenamiento territorial y la gestión del riesgo. In: GRUPO INTERNACIONAL RECURSOS DEL SUR. **Tiempo para entregar el relevo**:

reducción del riesgo del desastres desde la perspectiva de la gestión ambiental, ordenamiento territorial, finanzas e inversión pública. San Jose, 2007. p. 79-198.

CERRI, L. E. S. Mapeamento de risco nos municípios. In: BRASIL. Ministério das Cidades. Cities Alliance. **Prevenção de deslizamentos em encostas: um guia para a elaboração de políticas municipais.** Brasília: Ministério das Cidades/Cities Alliance, 2006. cap. 4, p.46-44. Disponível em: <<http://planodiretor.mprs.mp.br/arquivos/prevencaoriscos.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2018.

CERRI, L. E. S.; AMARAL, C. P. Riscos Geológicos. In: BRITO, S. N. A.; OLIVEIRA, A. M. S. **Geologia de Engenharia.** São Paulo: ABGE, 1998. p. 301 – 310.

CHAVES, S. V. V. **Vulnerabilidade às inundações em Teresina, Piauí.** 2015. 233 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufrn.br/sociedadeeterritorio/article/view/12533>>. Acesso em 07 jul. 2017.

CHIN, A. Urban transformation of river landscape in a global context. **Geomorphology**, Cambridge: Elsevier, v. 79, n. 3-4, p. 460-487, sep. 2006. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X06002637>>. Acesso em: 31 maio 2017.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial.** São Paulo: Edgar Blucher, 1981. 313 p.

CHUVA forte provoca alagamentos em Teófilo Otoni. **Aconteceu no vale**, Teófilo Otoni, 9 fev. 2015. Disponível em: <<http://aconteceunovale.com.br/portal/?p=52255>>. Acesso em: 04 jul. 2017.

CHUVAS causam vários transtornos pela cidade. **Diário de Teófilo Otoni**, Teófilo Otoni, 16 dez. 2014. Disponível em: <<http://www.diariodeteofilootoni.com.br/?p=3487>>. Acesso em: 12 fev. 2018.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia na encosta em interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. cap. 3, p. 93-151.

COELHO, F. C.; RUIZ, H. A.; CANTARUTTI, R. B.; FRAMCA, G. E. Transporte de NO₃- e NH₄⁺ em agregados de Latossolo Vermelho com e sem atividade biológica. **Rev. Bras. de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.4, p.380–386, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662007000400006&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 28 dez. 2017.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia.** Porto Alegre: UFRGS/ IPH, 151 p., 2008.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DO VALE DO SÃO FRANCISCO - CODEVASF. **Projeto Sertão de Pernambuco:** levantamento detalhado de solo e classificação de terras para irrigação. Recife, 2000. 109p.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS (COPASA). Disponível em: <www.copasa.com.br>. Acesso em 10 de julho de 2018.

CORREIA, M. R. D.; NOGUEIRA, R. E.; SOUZA FILHO, C. R. de; POZZOBON, M. Aplicação da técnica pesos de evidência (Weights of Evidence - WofE) para o mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos na região do baixo vale do Itajaí–SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...**, São José dos Campos: INPE, 2013. p. 6010-6017. Disponível em: <<http://marte2.sid.inpe.br/rep/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.28.23.46.58>>. Acesso em: 30 maio 2017.

COSTA, H.; TEUBER, W. **Enchentes no Estado do Rio de Janeiro**: uma abordagem geral. Rio de Janeiro: SEMADS, 2001. 160 p.

COURA, P. H. F.; SOUSA, G. M.; FERNANDES, M. C. Mapeamento Geoecológico da Susceptibilidade à Ocorrência de Incêndios no Maciço da Pedra Branca, Município do Rio de Janeiro. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro: UFRJ, v. 32, n. 2, p. 14-25, 2009. Disponível em: <<https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/6794/5391>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

COUTO, E. V.; FORTES, E.; FERREIRA, J. H. D. Índices geomorfológicos aplicados a análise morfoestrutural da zona de falha do Rio Alonzo – PR. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Brasília, v. 14, n. 4, p. 287-297, 2013. Disponível em: <<http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/323/347>>. Acesso em: 15 dez. 2017.

CPRM. **Projeto Leste**: Folha Mucuri-SE.24-V-C-V. Belo Horizonte: SEME/COMIG, 1996. Carta Geológica. Escala 1:100.000. [CDroom].

CPRM. **Projeto Leste**: Folha Teófilo Otoni-SE.24-V-C-IV. Belo Horizonte: SEME/COMIG, 2001. Carta Geológica. Escala 1:100.000. [CDroom].

CRISTO, S. S. V. de. **Análise de susceptibilidade a riscos naturais relacionados às enchentes e deslizamentos do setor leste da bacia hidrográfica do rio Itacorubi, Florianópolis – SC**. 2002. 211 f. Dissertação (Mestrado em Geociência) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/82704>>. Acesso em: 17 fev. 2018.

CROZIER, M. J. **Landslides**: causes, consequences and environment. New Hampshire: Croom Helm, 1986. 252 p.

CRUZ, O. Contribuição geomorfológica ao estudo de escarpas da Serra do Mar. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 8-11, n. 1, p. 9-20, jan/jun. 1990. Disponível em: <<http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/rig/article/view/8789/8056>>. Acesso em: 31 maio 2017.

CUNHA, C. M. L. **A cartografia do relevo no contexto da gestão ambiental**. 2001. 128 f. Tese (Doutorado em Geomorfologia) – Instituto de Geociência e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

CUNHA, J. M. P.; JAKOB, A. A. E.; HOGAN, D. J.; CARMO, R. L. A vulnerabilidade social no contexto metropolitano: o caso de Campinas. In: CUNHA, J. M. P. (Org.). **Novas metrópoles paulistas**: população, vulnerabilidade e segregação. Campinas: Editora da Unicamp, 2006. cap. 5, p.143-68.

CUNHA, M. A. (Coord.). **Ocupação de encostas**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1991.

CUNHA, S. B da. Geomorfologia Fluvial. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

CURSIO, G. R.; LIMA, V. C.; GIAROLA, N. F. B. **Antropossolos: proposta de Ordem**. Colombo (PR): EMBRAPA/MAPA, 2004.

CUTTER S. L. (Org.) **Environmental risks and hazards**. London: Prentice-Hall, 1994.413 p.

CUTTER S. L. Vulnerability to environmental hazards. **Progress in Human Geography**, Columbia, v. 20, n. 4, p. 529-539, dec. 1996.

DAI, F. C.; LEE, C. F. Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. **Geomorphology**, Cambridge: Elsevier, v. 42, n. 3-4, p. 213-228, jan. 2002. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X01000873>>. Acesso em: 20 abr. 2018.

DALLAPICOLA, M. S. Q. **Desnaturalização do Rio Doce: uma abordagem geográfica das intervenções no setor urbano de Colatina/ES**. 2015. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015. Disponível em: <<http://www.geo.ufes.br/sites/geografia.ufes.br/files/field/anexo/maionny.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2017.

DE PLOEY Y.; CRUZ, O. Landslides in the Serra do Mar, Brazil. **Catena**, Cambridge: Elsevier, v. 6, n. 2, p. 111-122, sep. 1979. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0341816279900018>>. Acesso em: 5 mar. 2018.

DIAS, F. P.; HERRMANN, M. L. P. de. Susceptibilidade a deslizamentos: estudo de caso no bairro Saco Grande, Florianópolis – CC. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v.3, n.6, p. 57-73, jun. 2002. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15295/8594>>. Acesso em: 21 abr. 2017.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. 3. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. 220 p.

EGLER, C. A. G. Potencial de Risco Ambiental na Zona Costeira. In: MORAES, A. C. R. de *et al.* (Orgs.). **Macrodiagnóstico da Zona Costeira do Brasil na Escala da União**. Belo Horizonte: Pax, 1996. cap. 3.

EL-MASRI, S.; TIPLLE, G. Natural disaster, mitigation and sustainability: the case of developing countries. **International Planning Studies**, [S.l.], v. 7, n. 2, p. 157 -175, 2002.

Em Teófilo Otoni, cerca de 30 casas são destruídas pela da chuva. **O Globo**. Disponível em: <<http://g1.com/mg>>. Acessado em: 30 jun. 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 306p.

ESTEIROS, S. P. G. Riscos de cheias e ordenamento territorial. In: SARAIVA, M. da G. A. N. (Org.). **O rio como paisagem: Gestão de corredores fluviais no quadro de ordenamento do território**. Lisboa: Calouste Gulbenkian, 1999. cap. 07, p. 315-380.

FALESI, Í.; BASTOS, T. X.; MORAES, V. H. F. Zoneamento agrícola na Amazônia. **Boletim Técnico**, Belém: IPEAN, n.54, p. 17-64, jan. 1972.

FARAH, F. **Habitação e encostas**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2003. 312 p. (Coleção Habitare). Disponível em: <http://www.habitare.org.br/publicacao_colecao3.aspx>. Acesso em: 20 jul. 2017.

FERNANDES, N. F. GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C. MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. Condicionantes geomorfológicas dos deslizamentos nas encostas: Avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Brasília, v. 2, n. 1, p. 51-71, 2001. Disponível em: <http://www.ugb.org.br/home/artigos/SEPARATAS_RBG_Ano_2001/Revista2_Artigo05_2001.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2017.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia e Meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand, 1996. cap. 3, p. 123- 194.

FERNANDES, N. F.; COELHO NETTO, A. L.; LACERDA, W. A. Subsurface hydrology of layered colluvium mantles in unchanneled valleys - southeastern Brazil. **Earth Surface Processes and Landforms**, [S.l.], v. 19, n. 7, p. 609-626, nov. 1994.

FERRAZ, C. M. L. **A Evolução do relevo Adjacente à Margem Continental Passiva Brasileira**: das “Chapadas” do Jequitinhonha à Planície Costeira do Sul da Bahia. 2006. 104 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

FERRAZ, C. M. L.; VALADÃO, R. C.; ALMEIDA, R. de A.; SCHETINI, A. C. S.; GOMES, G. V. Expansão urbana de Teófilo Otoni/MG: aplicação de técnicas de geoprocessamento na contribuição para ordenamento territorial. **Revista Vozes dos Vales**. Teófilo Otoni, v. 12, p. 1-22, maio 2017.

FERRAZ, C. M. L.; VALADÃO, R. C.; HENRIQUES, R.J.; TRINDADE, B. C.; LADISLAU, F. F. Uso de geotecnologias para mapeamento da suscetibilidade a inundações e escorregamentos em Teófilo Otoni, Minas Gerais: potencialidades e limitações. **Revista Vozes dos Vales**, v. 14, p. 1-31, 2018.

FERRAZ, C. M. L.; ANDRADE, J. R.; COSTA, A. S. V. A previsibilidade climática e o planejamento hídrico: Análise preliminar sobre a pluviosidade em Teófilo Otoni/MG. In:

WORKSHOP INTERNACIONAL DE BIORREMEDIAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS, 1, SESMA, 11, 2016, Vila Velha. **Anais...** Vila Velha: [s.n.], 2016b.

FERRAZ, C. M. L.; VALADÃO, R. C. Geomorfodinâmica adjacente a margem continental passiva: estudo de caso do nordeste de Minas Gerais e sul da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 12, 2016, Natal. **Anais...** Natal: UFRN, 2006. [não paginado].

FERRAZ, C. M. L.; VALADÃO, R. C.; HENRIQUES, R. J. Geomorfologia do espaço urbano de Teófilo Otoni (MG): contribuições ao ordenamento territorial. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 11, 2016a, Londrina. **Anais...** Londrina: [s.n.], 2016. [não paginado]. Disponível em: <<http://sinageo.org.br/2016/trabalhos/8/8-408-1053.html>>. Acesso em: 06 dez. 2017.

FERREIRA, J. S. W. Globalização e Urbanização subdesenvolvida. **São Paulo em Perspectiva**, São Paulo, v. 14, n. 4, p. 10-20, out./dez. 2000. Disponível: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-88392000000400003>. Acesso em: 06 dez. 2017.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B., CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da Região Sudeste do Brasil. **R. Bras. Ci. Solo**, [S.l.], v. 23, p. 515-524, 1999. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v23n3/04.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2018.

FERREIRA, M.V. Contribuição metodológica ao estudo da dissecação e energia do relevo: proposta e avaliação de técnicas computacionais. 2015. 230 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociência e Ciências Exatas, Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro: IGCE-UNESP. 2015. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/138513>>. Acesso em: 12 jan. 2018.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. [S.l.:s.n.], 2005. 30 p. Disponível em: <http://www.andersonmedeiros.com/wp-content/uploads/2013/04/conceitos_sm.pdf>. Acesso em: 06 dez. 2016.

FILIZOLA, H. F.; FERRACINI, V. L.; SANS, L. M. A.; GOMES, M. A. F.; FERREIRA, C. J. A. Monitoramento e avaliação de risco de contaminação por pesticidas em água superficial e subterrânea na região de Guaíra. **Pesq. Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 5, p. 659-667, maio 2002.

FINKLER, R. **Planejamento, manejo e gestão de bacias**. Brasília: [s.n.], 2012. 65 p. (Desenvolvimento de material didático ou instrucional - Elaboração de conteúdo).

FLOODSITE PROJECT. **Integrated flood risk analysis and management methodologies**. 2008. Disponível em: <<http://www.floodsite.net/default.htm>>. Acesso em: 10 mai. 2017.

FORNASARI FILHO, N.; INFANTI JUNIOR, N. Processos de Dinâmica Superficial. In: BRITO, S. N. A.; OLIVEIRA, A. M. S. (Ed.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. cap. 9, p.131-152.

FREDLUND, D. G. Slope stability analysis incorporating the effect of soil suction. In ANDERSON, M. G.; RICHARDS, K. S. (Eds.). **Slope Stability**. Chichester: John Wiley, 1987. p. 113-144.

FREDLUND, D. G.; RAHARDJO, H. **Soil mechanics for unsaturated soils**. New York: John Wiley, 1993. 517 p.

FREITAS, D. R.; VALÉRIO FILHO, M.; MENDES, R. M. Loteamentos irregulares em área de risco a escorregamentos no município de São José dos Campos-SP: um estudo dos loteamentos águas de Canindú I e II e Chácaras Havaí. **Revista UNIVAP Online**. São José dos Campos, v. 22, n. 41, p. 32-44, dez. 2016. Disponível em: <<https://revista.univap.br/index.php/revistaunivap/article/view/396>>. Acesso em: 11 set. 2018.

FRITZEN, M.; BINDA, A. L. Inundações e Alagamentos em Chapecó-SC: Repercussões do Uso e Ocupação da Bacia Hidrográfica do Lajeado Passo dos Índios. In: SEMINÁRIO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO DA UFFS, 2, 2012, Chapecó. **Anais...** Chapecó: UFFS, 2012.

GARCÍA-TORNEL, F. C. La geografía de los riesgos. **Geocrítica**, Barcelona, v. 9, n. 54, nov. 1984. [não paginado]. Disponível em: <<http://www.ub.es/geocrit/geo54.ht>>. Acesso em: 3 ago. 2017.

GARCÍA-TORNEL, F. C. La geografía de los riesgos. **Geocrítica**. Barcelona, v. 9, n. 54, nov. 1984. Disponível em: <<http://www.ub.es/geocrit/geo54.ht>>. Acesso em: 03 ago. 2017.

GERSCOVICH, D. M. S. **Estabilidade de taludes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016. 192 p.

GHIDIN, A. A.; MELO, V de F. LIMA, V. C.; LIMA, J. M. J. C. Toposseqüências de Latossolos originados de rochas basálticas no Paraná. II - relação entre mineralogia da fração argila e propriedades físicas dos solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 307-319, 2006. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214051011>>. Acesso em: 20 abr. 2018.

GONÇALVES, L. F. H.; GUERRA, A. J. T. Movimentos de massa na cidade de Petrópolis (Rio de Janeiro). In: CUNHA, S. B; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. p. 189-252.

GONÇALVES, R. G.; SCHETINI, A. C. S.; GOMES, G. V.; FERRAZ, C. M. L. Desequilíbrio entre necessidades e disponibilidades do meio natural: um estudo de caso em Teófilo Otoni, Minas Gerais. **Revista Geonorte**, [S.l.], v.10, n.1, p. 315-319, 2014. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufam.edu.br/revista-geonorte/article/view/1715/1603>>. Acesso em: 07 jul. 2018.

GONZÁLEZ, A. P.; ALVES, M. C. Armazenamento de água e densidade do solo sob três condições de superfície, em um Cambissol gleico de Lugo, Espanha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.1, p.45-50, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662005000100007&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 8 nov. 2018.

GOOGLE. Google Earth website. 2015. [Online]. Disponível em: <<http://earth.google.com/>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

GOSWAMI, R. K.; SINGH, B. An Analysis of Causes of Urban Landslides in Residual Lateritic Soil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CASE HISTORIES IN GEOTECHNICAL ENGINEERING, 6, 2008, [S.l.]. **Anais...** Rolla: Missouri University of Science and Technology, 2008. p. 1-9. Disponível em: <<http://scholarsmine.mst.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2699&context=icchge>>. Acesso em: 14 out. 2018.

GOUVEIA, I. C. M. C; RODRIGUES, C. A apropriação das planícies fluviais e as inundações na bacia hidrográfica do Rio Tamanduateí, na Grande São Paulo. In: BENINI, S. M.; CONSTANTINO, N. R. T.; ROSIN, J. A. R. de G. (Org.). **APPs fluviais na cidade contemporânea: estudos de casos**. Tupã: ANAP, 2016. cap. 1, p. 10-35.

GREGOR, M.; MALÍK, P. (2012). **RC 4.0. User's Manual**. Software for Water Science, 36 p. Disponível em: <<https://hydrooffice.org>>. Acesso em: 23 de julho de 2015.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. 192 p.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. 458p.

GUIDICINI, G.; IWASA, O. Y. **Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos no meio tropical úmido**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1976. 48 p.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de Taludes naturais e de escavação**. São Paulo: Edgard Blucher, 1983. 216 p.

GUIMARÃES, R. F. **A modelagem matemática na avaliação de áreas de risco a deslizamentos: o exemplo das bacias dos rios Quitite e Papagaio (RJ)**. 2000. 157 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000.

GUIMARÃES, R. F. RAMOS, V. M.; REDIVO, A. L.; GOMES, R. A. T. FERNANDES, N. F.; CARVALHO JUNIOR, O. A. de. Aplicação do modelo SHALSTAB para determinação de áreas de risco a escorregamentos rasos em regiões tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 19, 1999. **Anais...** São Paulo: ABGE, 1999. [CD-ROM].

GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T.; FERNANDES, N. F. Movimentos de massa. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 159-184.

HERRMANN, M. L. de P. Análise dos Episódios Pluviais e seus Impactos em Locais do Aglomerado Urbano de Florianópolis - SC. Período de 1980 a 1985. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 2, 1998b, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Geosul, 1998. v. 14, n. 27, 711p.

HERRMANN, M. L. de P. **Problemas Geoambientais na Faixa Central do Litoral Catarinense**. 1998a. 307 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY, P. **The landslide handbook: A guide to understanding landslides**. Reston: Geological Survey Circular, 2008. 129 p.

HOGAN, D. J.; CUNHA, J. M. P.; CARMO, R. L.; OLIVEIRA, A. A. B. Urbanização e vulnerabilidade sócio-ambiental: o caso de Campinas. In: HOGAN, D. J. *et al.* (Org.). **Migração e ambiente nas aglomerações urbanas**. Campinas: NEPO/UNICAMP, 2001. p. 395-418.

HORA, B. H.; GOMES, L. R. Mapeamento e avaliação do risco a inundação do Rio Cachoeira em trecho da área urbana do Município de Itabuna/BA. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 21, n. 2, p. 57-75, ago. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-45132009000200005>. Acesso em: 10 out. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=00&dados=1>>. Acesso em: 3 abr. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha SE 24 Rio Doce: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial do solo**. Rio de Janeiro: IBGE, 1987. 544 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades**. Teófilo Otoni. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=316860>>. Acesso em: 3 abr. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de unidades de relevo do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/informacoes-ambientais/geomorfologia/15827-unidades-de-relevo.html?=&t=sobre>>. Acesso em: 09 out. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Teófilo Otoni**. Rio de Janeiro: IBGE, 2014. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/historico.php?lang=&codmun=316860&search=minas-gerais|teofilo-otoni|infograficos:-historico>>. Acesso em: 10 out. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>> Acesso em: mai. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais climatológicas**. Brasília, 1992. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>>. Acesso em: 2 jun. 2017.

IZIPPATO, F. J.; MIRANDOLA, P. H.; SILVA, R. A.; PIRES, E. V. R. Análise ambiental no sistema de Bacia hidrográfica do córrego Rio Branco com fins de planejamento ambiental com uso de geotecnologias. **Revista Geonorte**, [S.l.], v. 2, n. 4, p. 1180-1194, 2012.

Disponível em: <<http://www.periodicos.ufam.edu.br/revista-geonorte/article/view/2180/2050>>. Acesso em: 2 jul. 2017.

JESUS, A. C. **Retroanálise de escorregamentos em solos residuais não saturados**. 2008. 265 f. Dissertação (Mestrado em Geotécnica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-10102008-090913/pt-br.php>>. Acesso em: 20 abr. 2018.

JUNGLES, A. E.; SCHADECK, R. Desafios do mapeamento de áreas de risco. **Com Ciência Ambiental**. São Paulo, p. 68-77, out. 2010. Disponível em: <<http://www.ceped.ufsc.br/wp-content/uploads/2010/01/Caderno-Edi%C3%A7%C3%A3o-30-Desafios-do-Mapeamento-de-%C3%A1reas-de-Risco1.pdf>>. Acesso em: 30 maio 2017.

KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G.; CAMPOS, K. C.; LUCHIARI, A.; ROSS, J. L. S. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 2203-2210. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.16.10/doc/2203.pdf>>. Acesso em: 4 jan. 2018.

KEEFER, D. K; WILSON, R. C.; MARK, R. K.; BRABB, E. E.; BROWN, W. M. III; ELLEN, S. D.; HARP, E. L.; WIECZOREK, G. F.; ALGER, C. S.; ZATKIN, R. S. Real-time landslide warning during heavy rainfall. **Science**, [S.l.] v. 238, n. 4829, p. 921-925, nov. 1987. Disponível em: <http://ftp.wsl.ch/pub/TRAMM/Workshop_EWS/Literature/Keefer_et_al_1987_Science.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2018.

KOBIYAMA, M.; CHECCHIA, T.; SILVA, R. V. da; SCHRÖDER, P. H.; GRANADO, A.; REGINATTO, G. M. P. Papel das comunidades e da universidade no gerenciamento de desastres naturais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1, 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p. 834-846. (CD-ROM).

KOBIYAMA, M.; CHECCHIA, T.; SILVA, R. V.; ALVES, A.; POMPÊO, C. A. Papel da engenharia ambiental para prevenção de desastres naturais: monitoramento e modelagem. In: ENCONTRO NACIONAL DOS ESTUDANTES DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 1, 2003, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Universidade Católica de Goiás, 2003. v. 1, p. 23-24. Disponível em: <http://www.labhidro.ufsc.br/Projetos/ARTI_2009/ENEEAmb2003_Goias.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2017.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. de O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MORELLI, G. S. F.; RUDORFF, F. de M. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Florianópolis: Organic Trading, 2006. 109 p. Disponível em: <<http://logatti.edu.br/images/prevencaodesastres.pdf>>. Acesso em: 07 jul. 2017.

KRON, W. Keynote lecture: Flood risk = hazard x exposure x vulnerability. In: FANG, H. *et al.* (Ed). **Flood Defence' 2002**. New York: Science Press, 2002. v. 30, n. 1, p. 58-68.

LACERDA, W. A. Landslide initiation in saprolite and colluvium in southern Brazil: Field and laboratory observations. **Geomorphology**, Cambridge: Elsevier, v. 87, n. 3, p. 104-119, jun. 2007. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X0600345X>>. Acesso em: 20 out. 2018.

LEITE, A. C. S.; SENA, F. T. N. S.; NETO, B. J. S. Técnicas de sensoriamento remoto na análise temporal para a gestão territorial do município de Timon-Ma. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 4, 2012, Recife. **Anais...** Recife: UFPE, maio 2012. p. 01-05.

Disponível em: <https://www3.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIV/CD/artigos/SReFOTO/133_4.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2018.

LEOPOLD, L. B. Lag times for small drainage basins. **Catena**, Cambridge: Elsevier, v. 18, n. 2, p. 157-171, apr. 1991. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0341816291900140>>. Acesso em: 28 ago. 2017.

LIMA, C. F.; FERRAZ, C. M. L. Desastres naturais na cidade de Teófilo Otoni, Minas Gerais: proposta de mapeamento sintético. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE

GEOMORFOLOGIA, 11, 2016, Maringá. **Anais...** Maringá: JGI, 2016. v. 1 [não paginado]. Disponível em: <<http://www.sinageo.org.br/2016/trabalhos/8/8-526-1053.html>>. Acesso em: 13 jul. 2017.

LOPES, E. S. S. **Modelagem espacial dinâmica aplicada ao estudo de movimentos de massa em uma região da Serra do Mar paulista, na escala de 1:10.000**. 2006. 276 f. Tese (Doutorado em Geociência e Meio Ambiente) – Instituto de Geociência de Ciências Exatas, Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro, 2006. Disponível em:

<<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/102962?show=full>>. Acesso em: 01 abr. 2018.

LOPES, J. A. U. **Os movimentos coletivos dos solos e a evolução das encostas naturais nas regiões tropicais e subtropicais úmidas**. 1995. 166 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/48842/D%20-%20JOSE%20ANTONIO%20URROZ%20LOPES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 7 fev. 2018.

MACHADO, A. C. P.; CUNHA C. M. L. da. A influência das características morfométricas do relevo na morfodinâmica: um estudo da alta Bacia do Rio Itanhaém/SP. **Geociências**, São Paulo, v. 32, n.2, p. 298-316, 2013. Disponível em:

<<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/7307>>. Acesso em: 30 maio 2017.

MAGALHÃES J. R.; MOREIRA, P. F. Eventos de “Desequilíbrio Morfodinâmico” na Evolução Geomorfológica de Minas Gerais – O caso de Teófilo Otoni/Caraí – Região Noroeste do Estado. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 6, n. 2, p. 23-32, 1998. Disponível em: <http://www.igc.ufmg.br/geonomos/PDFs/6_2_23_32_Magalhaes.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2017.

MAGALHÃES, I. A. L; THIAGO, C. R. L; AGRIZZI, D. V.; SANTOS, A. R dos. Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de Risco de inundação em Guaçuí, ES: Uma análise

comparativa entre dois métodos. **Cadernos de Geociências**, Salvador, v. 8, n. 2, p. 63-70, nov. 2011. Disponível em: <<https://portalseer.ufba.br/index.php/cadgeoc/article/view/5288/4036>>. Acesso em: 12 jul. 2017.

MARANDOLA JUNIOR, E.; HOGAN, D. J. Vulnerabilidade do lugar vs. vulnerabilidade sociodemográfica: implicações metodológicas de uma velha questão. **Revista Brasileira de Estudos de População**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 2, p. 161-181, jul./dez. 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbepop/v26n2/02.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2017.

MARANDOLA JUNIOR, E.; HOGAN, D. J. Vulnerabilidades e riscos: entre Geografia e Demografia. **Revista Brasileira de Estudos de População**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, p. 29-53, jan./jul. 2005. Disponível em: <https://www.rebep.org.br/revista/article/view/253/pdf_237>. Acesso em: 20 maio 2017.

MARCELINO, E. V. **Mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamentos no município de Caraguatatuba (SP) usando técnicas de sensoriamento remoto**. 2003. 99 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2004.

MARCELINO, E. V. **Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos**. São José dos Campos: INPE, 2008.

MARÉS MIKOSIK, A. P.; PAULA, E. V.; SANTOS, L. J. C. Influência da Curvatura das Vertentes na Ocorrência de Escorregamentos Translacionais na Sub-Bacia do Rio Sagrado (Morretes/PR). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 8, 2010, Recife. **Anais...** Recife: [s.n.], 2010. [não paginado]. Disponível em: <<http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/8/9/9.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2018.

MARICATO, E.; OGURA, A.T.; COMARU, F. Crise urbana, produção do habitat e doença. In: SALDIVA, P. *et al.* (Org.). **Meio ambiente e saúde: o desafio das metrópoles**. São Paulo: Instituto Saúde e Sustentabilidade, 2010. p. 46-65.

MARTINS, M. L. Ocupação e desflorestamento numa área de fronteira: Vale do Mucuri, MG – 1890 a 1950. **Revista de História Regional**, Ponta Grossa, v. 15, n.1, p. 40-77, 2010. Disponível em: <<http://www.revistas2.uepg.br/index.php/rhr/article/view/2361>>. Acesso em: 01 abr. 2018.

MASCARÓ, J. L. **Manual de loteamentos e urbanização**. 2 ed. Porto Alegre: SAGRA/LUZZATTO, 1997. 210 p.

MAZOTO, M. L. **Índice de vulnerabilidade social para a análise da ocorrência de inundações no estado do rio de janeiro: 2000 a 2013**. 2015. 266 f. Tese (Doutorado em Saúde Coletiva) – Instituto de Estudos de Saúde Coletiva, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://www.posgraduacao.iesc.ufrj.br/media/tese/1457027155.pdf>>. Acesso em: 30 maio 2017.

MEIS, M. R. M.; MONTEIRO, A. M. F. Upper Quaternary "Rampas": Doce River Valley, SE Brazilian Plateau. **Z. Geomorphol**, v. 23, n. 2, p. 132-151, 1979.

MENDES, R. M. **Estudo das propriedades geotécnicas de solos residuais não saturados de Ubatuba (SP)**. 2008. 236 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3145/tde-02022009-175315/pt-br.php>>. Acesso em: 30 set. 2017.

MENDIONDO, E. M. Flood risk management of urban waters in humid tropics: early warning, protection and rehabilitation. In: TUCCI, C. E.; GOLDENFUM, J. (Org.). **Workshop on Integrated Urban Water Management in Humid Tropics**. Foz do Iguaçu: UNESCO, 2005. p. 1-14.

METZKER, M. C. R.; SAIS, A. C.; LEITE, J. A. O; FERRAZ, C. M. L. Uso de geotecnologias na caracterização de áreas de risco na cidade de Teófilo Otoni, Minas Gerais. **Revista Geonorte**, [S.l.], v. 4, n. 16, p. 324-328, jan. 2014. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufam.edu.br/revista-geonorte/article/view/1406>>. Acesso em: 01 abr. 2019.

MICHEL, G. P.; KOBIYAMA, M.; GOERL, R. F. Estimativa da quantidade de chuva necessária para deflagrar escorregamentos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19, 2011, Maceió. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2011. 20 p. [CD-rom].

MICHEL, G. P.; KOBIYAMA, M.; GOERL, R. F. Análise comparativa entre os modelos SHALSTAB e SINMAP na identificação de áreas susceptíveis a escorregamentos translacionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 10, 2012, Foz do Iguaçu. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2012. p. 1-21. Disponível em: <<http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/ENES161.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2017.

MINELLA, J. P. G; MERTEN, G. H.; RUHOFF, A. L. Utilização de métodos de representação espacial para cálculo do fator topográfico na equação universal de perda de solo revisada em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1455-1462, jul./ago. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832010000400041&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 20 jan. 2017.

MITCHEL, J. K. Megacities and natural disasters: a comparative analysis. **Geojournal**, Netherlands, n. 49, p. 137-142, 1999.

MOLINA, E. A. N.; CARDOSO, A. O.; NOGUEIRA, F. R. Relação Precipitação-Deslizamento no Município de São Bernardo do Campo-SP. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 37, p. 46-54, 2015. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=467547641009>>. Acesso em: 12 nov. 2018.

MONECHE, M. S. de F. **Análise da distribuição dos fatos geomorfodinâmicos para identificação de zonas de perigos naturais**. 2012. 113 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012. Disponível em: <http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFES_123b547d210fe5f11265eda5e3e8c0ee>. Acesso em: 12 nov. 2018.

MONTEIRO, C. A. F. **Clima e excepcionalismo**: conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico. Florianópolis: UFSC, 1991. 241 p.

- MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W. E. A physically-based model for the topographic control on shallow landsliding. **Water Resources Research**, [S.l.], v. 30, n. 4. p. 1153-1171, 1994. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.474.6180&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 12 set. 2017.
- MORISAWA, M. E. Quantitative geomorphology of some watersheds in the Appalachian Plateau. **Geological Society of America Bulletin**. [S.l.], v. 73, n. 9, p. 1025-1046, sep. 1962.
- MOSER, C. The asset vulnerability framework: reassessing urban poverty reduction strategies. **World Development**, New York, v. 26, n. 1, p. 1-19, jan. 1998.
- MOURA, J. R. S.; PEIXOTO, M. N. O.; SILVA, T. M. Geomorfologia do relevo e estratigrafia do Quaternário como base à tipologia de cabeceiras de drenagem em anfiteatro - médio vale do Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Geociência**, [S.l.], v. 21, n. 3, p. 255-265, 1991. Disponível em: <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/11767>>. Acesso em: 21 abr. 2017.
- MULLINS, C. E.; MACLEOD, D. A.; NORTHCOTE, K. H.; TISDALL, J. M.; YOUNG, Y. M. (Ed.). **Hardsetting soils: Behavior, occurrence and management**. New York: Adv. Soil Sci., 1990. 108 p.
- MUÑOZ, V. A. **Análise comparativa de técnicas de inferência espacial para identificação de unidades de suscetibilidade aos movimentos de massa na região de São Sebastião, São Paulo, Brasil**. 2005. 50 f. Monografia (Especialização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.
- MUNSELL SOIL COLOR COMPANY. **Munsell soil color chats, Munsell color, Macbeth Division of Kollmorgen Corporation**. Baltimore, 2013.
- NAKATA, A. A. M.; NUNES, J. O. R.; JULIAN, C. Aplicação da bioengenharia para recuperação de uma voçoroca provocada por erosão hídrica, localizada no distrito de Amadeu Amaral, Marília-SP. **Colloquium exactarum**, [S.l.], v. 8, n.3, p. 76-87, jul./set. 2016.
- NARVÁEZ, L.; LAVELL, A.; ORTEGA, G. P. **La gestión del riesgo de desastres: un enfoque basado en procesos**. Lima: Secretaria General de la Comunidad Andina, 2009. 102 p.
- NOGAMI, J. S.; CRUZ, P. T. da; MAIOLINO, A. L. G.; MONTEIRO, L. B.; LEME, C. R. M.; FERREIRA, R. C.; MELLIOS, G.; SANTOS, O. G.; NAKAO, H. Peculiarities of tropical lateritic and saprolitic soils used as construction materials: selection, control and acceptance criteria. In: **Peculiarities of Geotechnical Behavior of Tropical Lateritic and Saprolitic Soils: Progress Report 1982-1985**, São Paulo: ABMS, 1985.
- NERY, T. D. **Avaliação da suscetibilidade a escorregamentos translacionais rasos na bacia ultrafértil, Serra do Mar-SP, São Paulo**. 2011. Dissertação (Mestrado em Geografia) - USP, São Paulo, 2011.
- OGURA, A. T.; SILVA, F. C.; VIEIRA, A. J. N. L. Zoneamento de risco de escorregamento das encostas ocupadas por vilas operárias como subsídio à elaboração do plano de gerenciamento das áreas de risco da Estância Climática de Campos do Jordão - SP. In:

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1, 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GDN/UFSC, 2004. p. 44-58.

OLIVEIRA, A. M. dos S. (Coord.). **Diagnóstico ambiental para o manejo sustentável do Núcleo Cabuçu do Parque Estadual da Cantareira e áreas vizinhas do município de Guarulhos**. Guarulhos: Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Guarulhos, 2005.

OLIVEIRA, L. B.; RIBEIRO, M. R.; FERRAZ, F. B.; JACOMINE, P. K. T. Classificação de solos planossólicos do sertão do Araripe (PE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 685-693, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832003000400013&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 16 set. 2018.

OLIVEIRA, R. C. N. de; MIGUEZ, M. G. O Domínio dos Terrenos Marginais e seu Impacto na Requalificação Fluvial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19, 2011, Maceió. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRJ, 2011. p. 1-20. Disponível em: <https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/81/8baca995dca3f1e8128ed5567cf88302_e532161d147607318aa486eeed7f391.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2018.

ORTIGÃO, J. A. R. **Introdução à mecânica dos solos dos estados críticos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1995. 378 p.

PAES, V. J de C. **Projeto Leste-MG: Folha Teófilo Otoni (SE.24-V-C-IV)**. Belo Horizonte: SEME/COMIG/CPRM, 2001. Texto explicativo. Escala 1:100.000. [CDRom].

PARIZZI, M. G. Desastres naturais e induzidos e o risco urbano. **Revista Geonomus**, Belo Horizonte, v. 22, n. 1, p. 1-9, 2014.

PARISI, G.; PINHO, D. **Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa: Teófilo Otoni, MG**. São Paulo: CPRM, 2012.

PASSOS, E. Em 24 horas choveu mais de 140 mm em Teófilo Otoni. **Aconteceu no Vale**, Teófilo Otoni, 21 jan. 2016. Disponível em: <<http://aconteceunovale.com.br/portal/?p=77221>>. Acesso em: 04 jul. 2017.

PEDRÓN, F. de A.; DALMOLI, R. S. D.; AZEVEDO, A. C. V.; KAMINSKI, J. Solos urbanos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1647-1653, set./out. 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v34n5/a53v34n5.pdf>>. Acesso em: 17 dez. 2017.

PEDROSA, A. S.; PEREIRA, A. Diagnóstico dos factores condicionantes da susceptibilidade face ao risco de inundação urbana no concelho de Matosinhos. **Territorium**, Coimbra: Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, n. 13, p. 35-51, 2006. Disponível em: <<https://impactum-journals.uc.pt/territorium/article/view/3281>>. Acesso em: 14 abr. 2018.

PELOGGIA, A.U.G.; OLIVEIRA, A. M. S.; OLIVEIRA, A. A.; SILVA, E. C. N.; NUNES, J. O. R. Technogenic geodiversity: a proposal on the classification of artificial ground. **Quaternary and Environmental Geo-sciences**, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 28-40, 2014. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/abequa/article/view/34823>>. Acesso em: 30 nov. 2017.

PFALTZGRAFF, A. S. **Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos na Região Metropolitana Do Recife**. 2007. 119, xi f. Tese (Doutorado em Geologia) – Centro de Tecnologia e Geociência, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/6331/1/arquivo6785_1.pdf>. Acesso em: 06 abr. 2018.

PINHEIRO, A. Enchente e Inundação. In: SANTOS, R. F. dos (Org.). **Vulnerabilidade Ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: MMA, 2007. cap. 7, p 95-106.

PINTO, R. C.; PASSOS, E.; CANEPARO, S. C. Mapeamento de suscetibilidade aos movimentos de massa com uso da Avaliação Multicritério pelo método da Média Ponderada Ordenada. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 25, n. 43, p. 116-143, 2015. Disponível em: <<http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/8276>>. Acesso em: 20 maio 2017.

PINTO, W. D. **Avaliação da susceptibilidade a escorregamentos em solo: uma abordagem fuzzy**. 2002. 130 p. Dissertação (Mestrado em Geotécnica) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <<http://www.geotecnia.unb.br/downloads/dissertacoes/254-2015.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2018.

PLATE, E. J. Flood risk and flood management. **Journal of Hydrology**. Cambridge: Elsevier, v. 267, p.2-11, 2002. Disponível em: <<http://redac.eng.usm.my/EAH/Literature/PlateJHydrology2002.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

POLIVANOV, H.; BARROSO, E. V. Geotecnia Urbana. In: GUERRA, A. J. T. (Org.) **Geomorfologia urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. cap. 6.

RAMOS, C. **Dinâmica Fluvial e Ordenamento do Território**. Lisboa: Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa, p. 96, 2009. (Programa de Unidade Curricular do 2º ciclo).

RAMOS, C. Perigos naturais devidos a causas meteorológicas: o caso das cheias e inundações. **e-LP Engineering and Technology Journal**, [S.l.] v. 4, p. 11-16, jun. 2013. Disponível em: <<http://revistas.ulusofona.pt/index.php/revistae-lp/article/view/3320>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

RAMOS, V. M.; GUIMARÃES, R. F.; REDIVO, A. L.; GPMES, R. A. T.; FERNANDES, N. F.; CARVALHO JUNIOR, O. A. de. Aplicação do modelo Shalstab em ambiente Arcview para o mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamentos rasos na região do Quadrilátero Ferrífero - MG. **Espaço e Geografia**, [S.l.], v.5, n.1, p. 49-57, 2002. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/10656>>. Acesso em: 30 maio 2018.

REBELO, F. Risco e crise nas inundações rápidas em espaço urbano... **Territorium**, Coimbra: Minerva, v. 4, p. 29-47, 1997. Disponível: <<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5773023.pdf>>. Acesso em: 13 fev. 2018.

REBOITA, M. S.; RODRIGUES, M.; SILVA, L. F.; ALVES, M. A. Aspectos Climáticos do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 17, p. 206-226,

2015. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/41493>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

RECKZIEGEL, B. W.; ROBAINA, L. E. de S.; OLIVEIRA, E. L. de A. Mapeamento de áreas de risco geomorfológico nas bacias hidrográficas dos Arroios Cancela e Sanga do Hospital, Santa Maria-RS. **Rev. Geografia**, Londrina, v. 14, n. 1, p 5-18, jan./jun. 2005. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/6744/6085>>. Acesso em: 09 fev. 2018.

RECKZIEGEL, E. W. **Identificação e mapeamento das áreas com perigo de movimentos de massa no município de Porto Alegre, RS**. 2012. 90 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociência, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/38651>>. Acesso em: 30 maio 2017.

REIS, P. E.; PARIZZI, M. G.; MAGALÃES, D. M. de; MOURA, A. C. M. O escoamento superficial como condicionante de inundações em Belo Horizonte, MG: Estudo de caso da sub-bacia Córrego do Leitão, Bacia do ribeirão Arrudas. **Revista Brasileira de Geociências**, [S.l.], v. 31, p. 31-46, 2012. Disponível em: <<http://geoproea.arq.ufmg.br/publicacoes/2012/o-escoamento-superficial-como-condicionante-de-inundacoes-em-belo-horizonte-mg-estudo-de-caso-da-sub-bacia-corrego-do-leitao-bacia-do-ribeirao-arrudas>>. Acesso em: 12 maio 2018.

RENEAU, S. L.; DIETRICH, W. E. The importance of hollows in debris flow studies; examples from Marin County, California. In: COSTA, J. E.; WIECZORED, G. F. (Eds.). **Debris Flows/Avalanches: Process, Recognition and Mitigation**. Boulder: Geological Society of America, 1987. p. 165-179.

RIBEIRO, M. R.; SOUZA, E. A. de. Caracterização e classificação de solos utilizados para pequena irrigação nas micro-regiões de Salgueiro e Alto Pajeu, no Estado de Pernambuco. **Cadernos Ômega**, Recife, n. 6, p. 149-164, 1994.

RIBEIRO, S. C.; MARÇAL, M. S.; CORREA, A. C. Geomorfologia de áreas semiáridas: uma contribuição ao estudo dos sertões nordestinos. **Revista de Geografia**, Recife, v. 27, n. 1, p. 120-137, 2010.

ROCHA, W. W.; DIAS JUNIOR, M. S.; LIMA, J. M.; MIRANDA, E. E. V.; SILVA, A. R. Resistência ao cisalhamento e grau de intemperismo de cinco solos na região de Lavras (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 297-303, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832002000200002&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 08 dez. 2017.

RODRIGUES, C. Morfologia Original e Morfologia Antropogênica na Definição de Unidades Espaciais de Planejamento Urbano: Exemplo na MetrÓpole Paulista. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v.17, p.101-111, 2005. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47278>>. Acesso em: 01 nov. 2018.

RODRIGUES, F. de S.; LISTO, F. de L.R. Mapeamento de áreas de risco a escorregamentos e inundações em áreas marginais a rodovias na Região Metropolitana de São Paulo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.l.], v. 21 n. 4, p. 765-775, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522016005004106&script=sci_abstract>. Acesso em: 03 fev. 2018.

RODRIGUES, A.C.L.; SANTOS, C. A. G.; SUZUKI, K.; SRINIVASAN, V. S. Resistência ao fluxo em canais íngremes com leito de cascalho. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre: jul./set. 2003, v. 8, n. 3, p. 117-134. [Online]. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=35&SUMARIO=518>>. Acesso em: 20 out. 2017.

ROY, A. G.; ROY, R.; BERGERON, N. Hydraulic geometry and changes in flow velocity at a river confluence with coarse bed material. **Earth Surface Processes and Landforms**, [S.l.], v. 13, n. 7, p. 583-598, nov. 1988.

RUHE, R. V. **Geomorphology-geomorphic process and surficial geology**. Boston: Houghton Mifflin, p. 246, 1975.

SAITO, S. M. **Estudo analítico da suscetibilidade a escorregamentos e quedas de blocos no maciço central de Florianópolis – SC**. 2004. 133 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/87389/212600.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

SALAMUNI, E.; EBERT, H. D.; HASUI, Y. Morfotectônica da Bacia Sedimentar de Curitiba. **Revista Brasileira de Geociências**, [S.l.], v. 34, n. 4, p. 469-478, dez. 2004. Disponível em: <<http://www.neotectonica.ufpr.br/morfotectonica/bacia-sedimentar.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2017.

SANTANA, J. K. R.; LISTO, F. L. R. Alterações morfológicas de encostas e deflagração de escorregamentos em áreas densamente urbanizadas: uma análise evolutiva em uma sub-bacia do município de Recife (PE). **Revista de Geografia**, Recife, v. 35, p. 1-19, 2018. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/235066>>. Acesso em: 08 ago. 2018.

SANTOS, J. H. G.; VIEIRA, E.I.; SILVA, G.B. Pedologia: levantamento exploratório de solos. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Folha SE. 24 Rio Doce: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1987. p. 229-252.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. rev. amp. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. 102 p.

SATO, S. E.; OLIVEIRA, A. M. Dos S.; SAWAYA, S. B.; HERLING, T. B. R.; MORETTI, R. de S.; GOMES, G. L. C. e C. Estudo da urbanização em áreas de risco a escorregamentos nos loteamentos do recreio São Jorge e Novo Recreio, região do Cabuçu, Guarulhos (SP), Brasil. **Paisagem Ambiente: Ensaios**, [S.l.], n. 29, p. 55-82, 2011. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/paam/article/view/77832>>. Acesso em: 14 set. 2017.

SATO, S. E.; MENDES, I. A. Cartas Morfométricas como subsídio para a Análise Ambiental – exemplo de aplicação em área costeira. In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, 10, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo, mar. 2005. p. 13895-13909. Disponível em:

<<http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal10/Procesosambientales/Geomorfologia/14.pdf>>. Acesso em : 12 abr. 2018.

SELBY, M. J. **Hillslope materials and processes**. 2ed. Oxford: Oxford Univ. Press, 1993. 480 p.

SHOAEI, G., SIDLE, R. C. Variation in soil characteristics and hydrologic properties associated with historic land use near a recent landslide, Nagano Prefecture, Japan. **Geoderma**, Cambridge: Elsevier, v. 153, n. 1-2, p. 37-51, oct. 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706109002274>>. Acesso em: 04 jul. 2017.

SILVA, A. J. N.; CARVALHO, F. G. Coesão e resistência ao cisalhamento relacionadas a atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Solos**, [S.l.], v. 31, p. 853-862, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832007000500003&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 17 nov. 2017.

SILVA, C. Chuva forte causa alagamentos e deixa famílias desabrigadas em Teófilo Otoni. **Estado de Minas**, Belo Horizonte, 29 nov. 2012. Disponível em: <http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2012/11/29/interna_gerais,333149/chuva-forte-causa-alagamentos-e-deixa-familias-desabrigadas-em-teofilo-otoni.shtml>. Acessado em: 02 mar. 2017.

SILVA, D. C. O e. **Aplicação do modelo SHALSTAB na previsão de deslizamentos em Petrópolis**. 2006. XVI, 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharias, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SILVA, L. S.; FRANÇA, C. A. SIG como ferramenta para mapeamento das formas de uso e ocupação do solo na APA Igarapé São Francisco. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p. 4723-4730. Disponível em: <<http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.33.06/doc/p1200.pdf>>. Acesso em 02 abr. 2018.

SILVA, M. M. da; SILVA, C. J. da; COSTA, K. S. P. Modelagem morfométrica e imagens QuicKBird aplicadas a susceptibilidade a deslizamentos de encostas no bairro Coroadinho – São Luís, MA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 09-49. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.21.13.19/doc/p1035.pdf>>. Acesso em: 02 abr. 2018.

SILVA, P.; PIRES, M. A. F. Renaturalização de rios, em áreas de trechos urbanos, com a aplicação de técnicas de bioengenharia em obras de engenharia hidráulica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17, 2007, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, v. 1, p. 162-179, 2007. Disponível em: <https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/19/879419df7e3de0bb399fe321b8c4a8df_829becbde1ed6e360c033d22a668f308.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2017.

SILVEIRA, A. L. L. Impactos hidrológicos da urbanização em Porto Alegre, In: TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. **Avaliação e Controle da Drenagem Urbana**. Porto Alegre: UFRGS, 2000. p. 153-163.

SLOTO, R. A.; CROUSE, M. Y. **HYSEP: A computer program for streamflow hydrograph separation and analysis**. U. S. Geological Survey. Water-Resources Investigations Report 96- 4040, Lemoyne, Pennsylvania, 1996, 46 p.

SMITH, K. **Environmental hazards: assessing risk and reducing disaster**. London: Routledge, 1992. 324p.

SOUZA, W. M.; AZEVEDO, P. V.; ARAÚJO, L. E. Classificação da Precipitação Diária e Impactos Decorrentes dos Desastres Associados às Chuvas na Cidade do Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 5, n. 2, p. 250-268, 2012. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge/article/view/232788>>. Acesso em: 31 maio 2017.

TATIZANA, C.; OGURA, A. T.; CERRI, L. E. S; ROCHA, M. C. M. Modelamento numérico da análise de correlação entre chuvas e escorregamentos aplicado às encostas da Serra do Mar no município de Cubatão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5, 1987, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABGE, 1987. p. 32-36.

TAVARES, A. C.; SILVA, A. C. F. Urbanização, chuvas de verão e inundações: uma análise episódica. **Climatologia e Estudos da Paisagem**, Rio Claro, v. 3, n. 1, p. 4-18, 2008. Disponível em: <https://mafiadoc.com/urbanizaao-chuvas-de-verao-e-inundacoes-uma-_59c737681723ddfa805c682a.html>. Acesso em: 12 out. 2018.

TEMPORAL causa estragos e alagamentos em Teófilo Otoni. **Aconteceu no Vale**, Teófilo Otoni, 26 nov. 2015. Disponível em: <<http://aconteceunovale.com.br/portal/?p=73656>>. Acesso em: 04 jul. 2017.

TEÓFILO OTONI. **Lei nº 5892** de 109 de dezembro de 2008. Dispões sobre o Plano diretor participativo do Município de Teófilo Otoni. Teófilo Otoni: Câmara Municipal de Teófilo Otoni.

TEÓFILO OTONI. Prefeitura Municipal de Teófilo Otoni. Minas Gerais. **Dossiê de tombamento do edifício da câmara municipal Teófilo Otoni**. Teófilo Otoni, jan. 2010. 109 p. Disponível em: <<http://www.teofilootoni.mg.gov.br/site/wp-content/uploads/2014/12/Quadro-III-Pr%C3%A9dio-C%C3%A2mara-Municipal-TO-BI.pdf>>. Acessado em: 08 fev. 2018.

TOMINAGA, L. K. **Avaliação de Metodologias de Análise de Risco a Escorregamentos: Aplicação de um Ensaio em Ubatuba, SP**. 2007. 220 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-18102007-155204/en.php>>. Acesso em: 07 jan. 2018.

TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 197 p. Disponível em: <<http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads/livros/DesastresNaturais.pdf>>. Acesso em: 08 jun. 2017.

- TORRES, H. G. A demografia do risco ambiental. In: TORRES, H. G.; COSTA, H. (Org.). **População e meio ambiente: debates e desafios**. São Paulo: SENAC, 2000. p. 53-73.
- TRICART, J. Os tipos de leitos fluviais. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 6, n. 11, p.41-49, 1966.
- TROEH, F. R. Landform equations fitted to contour maps. **American Journal of Sciences**, [S.l.], v. 263, p. 616-627, 1965.
- TUCCI, C. E. M. **Gestão das inundações urbanas**. Brasília: Global Water Partnership, 2005. 270 p.
- TUCCI, C. E. M. Águas Urbanas. In: TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1997. cap. 2, p. 11-44.
- TUCCI, C. E. M. Controle de enchentes. In: _____. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4ª ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2009. v. 14, cap. 16, p. 621-658.
- TUCCI, C. E. M. Drenagem urbana. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.55, n.4, p. 36-37, out./dez. 2003.
- UITTO, J. I. The geography of disaster, vulnerability in megacities: theoretical framework. **Applied Geography**, Cambridge: Elsevier, v. 18, n. 1, p. 7-16, 1998.
- UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. United Nations. **Living with risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives**. Geneva, v. 2, 2004. Disponível em: <http://www.unisdr.org/eng/about_isdr/bd-lwr-2004-eng.htm>. Acesso em: 18 set. 2017.
- VALADÃO, R. C. **A Vertente: uma categoria fundamental das investigações geomorfológicas**. 2010. No prelo.
- VALENCIO, N. Vivência de um desastre: uma análise sociológica das dimensões políticas e psicossociais envolvidas no colapso de barragens. In: VALENCIO, N. *et al.* (Org.). **Sociologia dos desastres: construção, interfaces e perspectivas no Brasil**. São Carlos: RiMa, 2009. cap. 14, p. 176-198.
- VALERIANO, M. M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia - conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de textos, 2008. cap. 3, p. 72-104.
- VANACÔR, R. N.; ROLIM, S. B. A. Mapeamento da suscetibilidade a deslizamentos usando técnicas de estatística bivariada e sistema de informações geográficas na região nordeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Brasília, v. 13, n. 1, p. 15-28, 2012. Disponível em: <<http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/338/279>>. Acesso em: 14 fev. 2017.
- VARGAS JUNIOR, E.; OLIVEIRA, A. R. B.; COSTA FILHO, L. M. C.; CAMPOS, T. P. **A Study of the relationship between the stability of slopes in residual soils and rain intensity**. Int. Symp. on Environmental Geotechnology. 1986
- VARGAS, M. A. R. Construção social da moradia de risco: A experiência de Juiz de Fora (MG). **Rev. Bras. Estudos Urbanos e Regionais**, [S.l.], v. 8, n. 1, p. 59-78, maio 2006.

Disponível em: <<http://rbeur.anpur.org.br/rbeur/article/view/154/138>>. Acesso em: 20 abr. 2018.

VARGAS, M. Introdução à Mecânica dos Solos. São Paulo: Mcgraw-Hill, 1978.

VARNES, D.J. Slope movement types and processes. In: SCHUSTER, R. L; KRIZEK, R.J. (Ed.). **Landslides: analysis and control**. Washington: National Academy of Sciences, 1978. p. 11-33.

VIEIRA, B. C.; VIEIRA, A. C. F.; FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Estudo comparativo dos movimentos de massa ocorridos em Fevereiro de 1996 nas bacias do Quitite e Papagaio (RJ): uma abordagem geomorfológica. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 2, 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/ISSMGE, 1997. p. 165-174.

VILLASCHI, J. Novas modalidades de urbanização e sua inserção regional: o condomínio Alphaville Lagoa dos Ingleses, Nova Lima-MG. In: CASTRIOTA, L. B. (Org.). **Urbanização brasileira: redescobertas**. Belo Horizonte: C/ Arte, 2003. p. 159-174. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000210&pid=S0102-3098201300010000300036&lng=en>. Acesso em: 13 jun. 2017.

WADT, P. G. S.; OLIVEIRA, L. C. de; OLIVEIRA, T. K. de; CAVALCANTE, L. M. **Sistema de Aptidão das Terras para Recuperação Ambiental**: Uma metodologia de planejamento ambiental. Rio Branco: Embrapa Acre, 2004. 38 p.

WHIPKEY, R. Z.; KIRKBY, M. J. Flow within the soil. In: KIRKBY, M. J. (Ed.) **Hillslope Hydrology**. London: John Wiley e Sons, 1978. p. 121-144.

WHITE, A. V.; BURTON, I. **Environmental risk assessment**. London: John Wiley e Sons, 1980. 157 p.

WIECZOREK, G. F., MANDRONE, G., DECOLA, L. The influence of hillslope shape on debris-flow initiation. In: CHEN, C. L. (Ed.). **Debris-flow hazards mitigation: mechanics, prediction, and assessment**. New York: American Society of Civil Engineers, 1997. p. 21-31. Disponível em: <<https://pubs.er.usgs.gov/publication/70170358>>. Acesso em: 13 jun. 2017.

WOLLE, C. M.; CARVALHO, C. S. Deslizamentos em encostas na Serra do Mar - Brasil. **Revista Solos e Rochas**, [S.l.], n. 12, p. 27-36, 1989.

WOLMAN, M. G. A cycle of sedimentation and erosion in urban river channels. **Geog. Annaler**, New York: Taylor & Francis, v. 49a, p. 385-395, 1967.

ZAIDAN, R.T.; FERNANDES, N.F. Zoneamento de Suscetibilidade a escorregamentos Rasos em Encostas Aplicado à Bacia de Drenagem Urbana do Córrego do Independência – Juiz de Fora (MG). In: **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Brasília, v.10, n. 2, p. 57-76, 2009.

ZÊZERE, J. L. Dinâmica de vertentes e riscos geomorfológicos. **Centro de Estudos Geográficos**, Lisboa: Universidade de Lisboa, n. 41, 129 p. 2005.