

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Escola de Engenharia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**Mapeamento Geotécnico Aplicado ao Planejamento do Uso e  
Ocupação do Solo da Cidade de Pelotas/RS**

Estudo Voltado à Expansão Urbana

Sinval Cantarelli Xavier

Porto Alegre  
2017

SINVAL CANTARELLI XAVIER

**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO APLICADO AO PLANEJAMENTO  
DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA CIDADE DE PELOTAS:  
ESTUDO VOLTADO À EXPANSÃO URBANA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia

Orientação: Prof. Ph.D. Luiz Antônio Bressani

Porto Alegre

2017

## CIP - Catalogação na Publicação

Xavier, Sinval Cantarelli

Mapeamento geotécnico aplicado ao planejamento do uso e ocupação do solo da cidade de Pelotas: estudo voltado à expansão urbana / Sinval Cantarelli Xavier.

-- 2017.

338 f.

Orientador: Luiz Antônio Bressani.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, BR-RS, 2017.

1. Cartografia Geotécnica. 2. Mapeamento Geotécnico. 3. Planejamento Urbano. 4. Mapa de suscetibilidade a processos geodinâmicos. 5. Carta de aptidão à urbanização. I. Bressani, Luiz Antônio, orient. II. Título.

**SINVAL CANTARELLI XAVIER**

**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO APLICADO AO PLANEJAMENTO  
DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA CIDADE DE PELOTAS:  
ESTUDO VOLTADO À EXPANSÃO URBANA**

Esta tese de doutorado foi julgada adequada para a obtenção do título de DOUTOR EM ENGENHARIA, Geotecnia, e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre, 14 de dezembro de 2017

Prof. Luiz Antônio Bressani  
Ph.D. pela University of London  
Orientador

Prof. Nilo Cesar Consoli  
Coordenador do PPGEC/UFRGS

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Cezar Augusto Burkert Bastos (FURG)**  
Dr. em Eng. Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Prof. Laurindo Antônio Guasselli (UFRGS)**  
Dr. em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Prof. Washington Perez Núñez (UFRGS)**  
Dr. em Eng. Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## RESUMO

XAVIER, S.C. Mapeamento Geotécnico Aplicado ao Planejamento do Uso e Ocupação do Solo da Cidade de Pelotas: Estudo Voltado à Expansão Urbana. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

O crescimento acelerado das cidades associado à ausência, inadequação ou ineficácia do planejamento urbano, no Brasil, tem acarretado o desequilíbrio dos sistemas ambientais e a imposição de riscos a parcelas significativas da população. Muito embora as numerosas críticas aos modelos de planejamento aplicados no País, o urbanismo continua desempenhando um papel fundamental na organização e desenvolvimento das cidades. A leitura e avaliação das potencialidades e limitações do meio físico urbano são essenciais ao processo de planejamento, organização e controle do uso do solo; sendo assim, a cartografia geotécnica desempenha um papel de relevância no enfrentamento dos problemas inerentes à ação do homem sobre o meio físico. Mas, apesar do considerável desenvolvimento da cartografia geotécnica nacional, ainda são necessários avanços no que se refere à sua aplicação ao ambiente urbano e ao planejamento, bem como uma melhor adequação à realidade econômica e instrumental da maioria dos municípios brasileiros, em especial os de médio e pequeno porte. O presente trabalho pretende contribuir com o desenvolvimento de instrumentos de auxílio ao planejamento do crescimento sustentável da cidade, através da estruturação de um procedimento progressivo de mapeamento geotécnico que incorpora a análise do crescimento da cidade como etapa de seu desenvolvimento. Aplicado ao município de Pelotas/RS, o método tem por base o uso de dados pré-existentes e objetivou a produção de mapas de suscetibilidade e da carta de aptidão à urbanização, aplicáveis ao planejamento territorial urbano. Partindo da etapa de inventário e passando pela fase de preparação e geração de dados, o mapeamento foi desenvolvido através da etapa geral e de semi-detalhe do método progressivo, nas quais os atributos do meio físico foram cruzados por meio de análise multivariada e uso de Sistema de Informações Geográficas. O mapeamento dos vazios urbanos e a modelagem e simulação do crescimento da cidade permitiram o direcionamento das etapas finais de mapeamento e a redução das análises geotécnicas às áreas territoriais de urbanização futura, reduzindo esforços e otimizando o processo como um todo. A aplicação do método produziu um grande número de informações, mapas, cartas e caracterizações do meio físico, com larga possibilidade de utilização no planejamento do crescimento futuro da cidade e na implantação de medidas corretivas aos problemas e conflitos decorrentes do processo de urbanização passada. Os resultados alcançados indicam tanto a validade da metodologia para o estudo em particular, quanto seu potencial de utilização, parcial ou total, a outras realidades fisiográficas. Através da contraposição da legislação urbanística, do processo de crescimento da cidade e dos produtos do mapeamento, foi possível concluir que a inexistência da informação geológico-geotécnica foi determinante na ocupação de áreas de muito baixa e baixa aptidão à urbanização na zona urbana do município de Pelotas. Tal constatação reforça, assim, a importância do uso da informação geológico-geotécnica no planejamento e na gestão urbana nacional.

**Palavras-chave:** Cartografia geotécnica; Mapeamento geotécnico; Planejamento urbano; Mapa de suscetibilidade a processos geodinâmicos; Carta de aptidão à urbanização.

## ABSTRACT

XAVIER, S.C. Mapeamento Geotécnico Aplicado ao Planejamento do Uso e Ocupação do Solo da Cidade de Pelotas: Estudo Voltado à Expansão Urbana. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

The accelerated growth of towns associated with the absence, inadequacy or low efficiency of urban planning in Brazil has caused changes of environmental systems and the imposition of risks to significant portions of the population. Despite the numerous criticisms of the planning models applied in the country, urban planning continues to play a fundamental role for the sustainable organization and development of the towns. The analysis and evaluation of the potentialities and limitations of the urban physical environment is essential to the process of planning, organization and control of land use. Therefore, Geotechnical Cartography plays a very important role in facing the problems inherent in the action of man on the physical and natural environment. But, despite the considerable development of the National Geotechnical Cartography, it is still necessary to make progress in its application to the urban environment and planning, as well as a better adaptation to the economic and instrumental reality of the great majority of Brazilian municipalities, especially those of medium and small sizes. The present work intends to contribute with the development of tools to support the planning of towns sustainable growth through the structuring of a progressive geotechnical mapping procedure which incorporates the city growth analysis. Applied to the town of Pelotas / RS, the method uses pre-existing data and had the objective to produce maps of susceptibility and urbanization suitability map applicable to planning. Starting from the inventory stage and going through the preparation and generation of data, the mapping was developed through the general and semi-detailed stages of the progressive method. In this case the attributes of the physical medium, represented by of Information Plans on Geographic Information System, were combined through multivariate analysis. The mapping of the urban voids and the modeling and simulation of the city growth allowed the concentration of the final stages of mapping, and the geotechnical analysis, only to the areas of future urbanization, reducing efforts and optimizing the whole process. The results indicate the validity of the method and its capacity to contribute in the regulation of land use in the study area, with potential to use in other situations. By comparing the urban legislation and the spatial growth of the town with the mapping products it was observed that the lack of geotechnical information was determinant in the past occupation of areas of very low and low aptitude for urbanization in Pelotas. This reinforces the importance of utilizing geological-geotechnical information in urban planning and management in Brazil.

**Key-words:** Geotechnical cartography; Geotechnical mapping; Urban planning; Map of susceptibility to geodynamic processes; Urbanization suitability map.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço especialmente ao Prof. Luiz Antônio Bressani, orientador desse trabalho, pela oportunidade, orientação e apoio.

Também agradeço:

Ao Prof. Cezar Bastos, pelo material de pesquisa emprestado e pelas valiosas informações acerca dos solos de Pelotas;

À minha esposa Adriana Portella, pelo apoio, ajuda e inúmeros conselhos;

À Secretaria de Gestão da Cidade e Mobilidade Urbana da Prefeitura Municipal de Pelotas, pelos dados e materiais fornecidos;

A Eng. Civil Aline Beloni, pelos mapas e informações a cerca dos laudos de sondagens utilizados no trabalho;

Às alunas do Curso Técnico em Edificações do IFSUL Iris e Marcela, pelo auxílio com a tabulação dos laudos de sondagens;

# SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>26</b>
1.1 PREMISSAS BÁSICAS .....	30
1.2 NÍVEIS DE ABORDAGEM .....	31
1.3 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO E CRESCIMENTO URBANO .....	31
1.4 OBJETIVOS .....	32
1.5 QUESTÕES DE PESQUISA .....	33
1.6 HIPÓTESES.....	34
1.7 O CASO DE ESTUDO .....	34
1.8 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	36
1.9 RESULTADOS ESPERADOS.....	37
<b>CAPÍTULO 2 A URBANIZAÇÃO, O CRESCIMENTO URBANO E O URBANISMO .....</b>	<b>38</b>
2.1 A URBANIZAÇÃO .....	38
2.2 O CRESCIMENTO URBANO .....	40
2.2.2 <i>Estudo do Crescimento Urbano</i> .....	41
2.2.2.1 Autômatos Celulares .....	43
2.3 O URBANISMO .....	46
2.3.1 <i>A Tradição Urbanística Brasileira</i> .....	48
2.3.2 <i>O Fracasso do Urbanismo Tradicional</i> .....	50
2.3.3 <i>O Estatuto da Cidade</i> .....	51
2.3.4 <i>O Urbanismo Pós-Estatuto da Cidade</i> .....	52
2.4 PLANEJAMENTO URBANO E CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA .....	54
<b>CAPÍTULO 3 A CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA.....</b>	<b>57</b>
3.1 ALGUMAS DEFINIÇÕES.....	57
3.2 BREVE HISTÓRICO .....	58
3.3 TERMINOLOGIA.....	63
3.4 CARTAS E MAPAS GEOTÉCNICOS .....	64
3.4.1 <i>Objetivos e Aplicações</i> .....	64
3.4.2 <i>Tipos de Cartas e Mapas Geotécnicos</i> .....	66
3.4.3 <i>Cartas Geotécnicas Aplicadas ao Planejamento Urbano</i> .....	68
3.4.3.1 <i>Cartas Geotécnicas de Suscetibilidade</i> .....	70
3.4.3.2 <i>Cartas de Aptidão à Urbanização</i> .....	74
3.4.4 <i>Escalas de Mapeamento</i> .....	78



3.5 PRINCIPAIS METODOLOGIAS INTERNACIONAIS DE MAPEAMENTO .....	79
3.5.1 Metodologia do IAEG .....	80
3.5.2 Metodologia PUCE .....	81
3.5.3 Metodologia Francesa .....	82
3.5.4 Metodologia ZERMOS.....	83
3.6 PRINCIPAIS METODOLOGIAS DE MAPEAMENTO UTILIZADAS NO BRASIL.....	84
3.6.1 Metodologia do IPT.....	85
3.6.2 Metodologia da Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP .....	88
3.6.3 Metodologia do Detalhamento Progressivo - UNESP/RIO CLARO .....	91
3.6.4 Metodologia do LAMGEO (UFRGS/UFSC).....	93
3.6.5 Metodologia de Diniz e Freitas (2013) adotada pelo Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas e Planícies GEGEP/DECivil da UFPE.....	95
3.7 APLICABILIDADE DAS METODOLOGIAS TRADICIONAIS DE MAPEAMENTO AO AMBIENTE URBANO .....	98
3.8 GEOPROCESSAMENTO APLICADO À CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA .....	99
<b>CAPÍTULO 4 METODOLOGIA.....</b>	<b>101</b>
4.1 PRESSUPOSTOS BÁSICOS DA ESTRUTURA METODOLÓGICA .....	102
4.2 ABORDAGENS METODOLÓGICAS EM MAPEAMENTO GEOTÉCNICO .....	103
4.3 MÉTODOS DE MAPEAMENTO.....	104
4.3.1 Método Geral.....	104
4.3.2 Método de definição das unidades geológico-geotécnicas.....	105
4.3.3 Método de definição das unidades de relevo.....	105
4.3.4 Métodos aplicados à elaboração das cartas geotécnicas voltadas ao planejamento territorial urbano.....	106
4.4 ETAPAS METODOLÓGICAS .....	107
4.4.1 Primeira etapa - Inventário .....	108
4.4.2 Segunda etapa - Preparação. ....	110
4.4.3 Terceira etapa - Etapa geral do método progressivo.....	111
4.4.4 Quarta etapa - Etapa intermediária do método progressivo. ....	113
4.4.5 Quinta etapa - Análise Geral. ....	116
<b>CAPÍTULO 5 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA - ETAPA 1: INVENTÁRIO .....</b>	<b>118</b>
5.1 CARACTERIZAÇÃO INICIAL DA ÁREA DE ESTUDO .....	118
5.1.1 Generalidades .....	118
5.1.2 Biodiversidade .....	120

5.1.3	<i>Clima</i>	121
5.1.4	<i>Hidrografia</i>	122
5.1.5	<i>Geomorfologia e Relevo</i>	123
5.1.6	<i>Geologia</i>	128
5.1.7	<i>Solos</i>	130
5.2	INVENTÁRIO COMPLEMENTAR DOS DADOS DISPONÍVEIS	140
5.3	IDENTIFICAÇÃO PRELIMINAR DOS PROBLEMAS, CONFLITOS E IMPACTOS NO MEIO FÍSICO	143
5.3.1	<i>Inundações</i>	143
5.3.2	<i>Erosões e Assoreamentos</i>	150
5.3.3	<i>Recalques diferenciais e baixa capacidade de suporte a fundações</i>	151
5.4	DEFINIÇÃO DOS ATRIBUTOS RELEVANTES	152
5.5	DEFINIÇÃO DAS ESCALAS DE TRABALHO	153
<b>CAPÍTULO 6 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA - ETAPA 2: PREPARAÇÃO DOS DADOS</b>		<b>160</b>
6.1	ELABORAÇÃO DO MAPA GEOMORFOLÓGICO	160
6.2	ELABORAÇÃO DO MAPA GEOLÓGICO	171
6.2.1	<i>Unidades Geológicas do Planalto Sul-Riograndense</i>	174
6.2.2	<i>Unidades Geológicas da Planície Continental e Costeira</i>	174
6.3	ELABORAÇÃO DO MAPA DE PEDOLOGIA	177
6.4	MAPA DO USO DO SOLO	186
6.5	DADOS MORFOMÉTRICOS	189
6.6	SONDAGENS SPT	191
6.7	OUTROS DADOS	192
6.7.1	<i>Mapas de isodeclividades e Hipsometria</i>	192
6.7.4	<i>Mapas da curvatura do relevo</i>	194
6.7.5	<i>Mapa da cobertura vegetal do solo</i>	195
<b>CAPÍTULO 7 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA: ETAPA 3 - MAPEAMENTO GERAL</b>		<b>196</b>
7.1	CARTA DE SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES	196
7.1.1	<i>PI Morfometria das Bacias Hidrográficas</i>	197
7.1.2	<i>PI Pedologia e PI Geologia</i>	199
7.1.3	<i>PI Isodeclividades e PI Hipsometria</i>	200
7.1.4	<i>PI Uso do Solo</i>	200
7.1.5	<i>Cruzamento dos Planos de Informações</i>	201
7.1.6	<i>Conferência e validação</i>	207

7.2 CARTA DE SUSCETIBILIDADE À EROÇÃO .....	211
7.2.1 <i>PI Pedologia</i> .....	212
7.2.2 <i>PI Isodeclividades e PIs Curvatura do relevo</i> .....	213
7.2.3 <i>PI Uso do Solo</i> .....	214
7.2.4 <i>PI Densidade da cobertura vegetal</i> .....	214
7.2.5 <i>Cruzamento dos Planos de Informações</i> .....	215
7.2.6 <i>Conferência e validação</i> .....	218

## **CAPÍTULO 8 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA: ETAPA 4 - MAPEAMENTO DE SEMIDETALHE**

.....	<b>222</b>
8.1 ADEQUAÇÃO DA ESCALA DAS SUSCETIBILIDADES .....	222
8.1.1 <i>Aumento de Escala dos Planos de Informações</i> .....	222
8.1.1.1 <i>Aumento de Escala dos PIs Solos e Geologia</i> .....	222
8.1.1.2 <i>Aumento de Escala do PI Uso do Solo</i> .....	223
8.1.1.3 <i>Aumento de Escala dos PIs Bacias Hidrográficas, Hipsometria e Declividades</i> .....	224
8.1.2 <i>Álgebras de Mapas</i> .....	224
8.2 ESTIMATIVAS DE UNIDADES GEOTÉCNICAS .....	225
8.2.1 <i>Caracterização das Unidades Geotécnicas</i> .....	227
8.3 NOVOS PLANOS DE INFORMAÇÕES .....	240
8.3.1 <i>Áreas de Preservação Ambiental</i> .....	240
8.3.2 <i>Drenagem Urbana: Áreas Protegidas Contra Inundações</i> .....	242
8.4 MAPA PRELIMINAR DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO.....	243
8.4.1 <i>Atribuição de Pesos</i> .....	244
8.4.2 <i>Cruzamento dos Planos de Informações</i> .....	245
8.5 ANÁLISE DO CRESCIMENTO URBANO .....	248
8.5.1 <i>Delimitação dos Vazios Urbanos</i> .....	249
8.5.2 <i>Crescimento Urbano de Pelotas</i> .....	251
8.5.2.1 <i>Modelo de Simulação do Crescimento Urbano - CityCell</i> .....	251
8.5.2.2 <i>Calibração e Validação do Modelo</i> .....	255
8.5.2.3 <i>Simulação do Crescimento Espacial da Cidade</i> .....	256
8.5.3 <i>Aptidão à Urbanização nos Vazios Urbanos</i> .....	258
8.5.3.1 <i>Grupo 1</i> .....	259
8.5.3.2 <i>Grupo 2</i> .....	261
8.5.3.3 <i>Grupo 3</i> .....	265
8.5.3.4 <i>Grupo 4</i> .....	268
8.5.3.5 <i>Grupo 5</i> .....	271

8.5.3.6 Grupo 6.....	273
8.5.3.7 Grupo 7.....	276
8.5.3.8 Grupo 8.....	279
8.5.4 Hierarquização dos vazios urbanos para futuro mapeamento em escala de detalhe .....	282
<b>CAPÍTULO 9 ANÁLISE GERAL.....</b>	<b>286</b>
9.1 PLANOS E LEGISLAÇÃO URBANÍSTICA.....	286
9.1.1 De 1829 a 1968.....	286
9.1.2 Primeiro Plano Diretor (1968).....	288
9.1.3 Segundo Plano Diretor (1980).....	289
9.1.4 Terceiro Plano Diretor (2008).....	292
9.1.5 Demais Legislações Aplicáveis.....	295
9.2 CRESCIMENTO E LEGISLAÇÃO URBANÍSTICA EM PELOTAS.....	295
9.2.1 Primeiro Período (1815 a 1916).....	296
9.2.2 Segundo Período (1916 a 1953).....	297
9.2.3 Terceiro Período (1953 a 1988).....	298
9.2.4 Quarto Período (1988 a 2015).....	303
9.3 PLANEJAMENTO URBANO E MAPEAMENTO GEOTÉCNICO.....	305
<b>CAPÍTULO 10 CONCLUSÕES.....</b>	<b>308</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>316</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>335</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Localização geográfica do Município de Pelotas.....	35
Figura 2.1: CA básico com dois tipos de vizinhança (Von Neumann = azul claro; Moore = vermelho claro), modificados pela regra 'mover ao vizinho à direita' a) no tempo t; b) no tempo t+1 (POLIDORI, 2004). .....	44
Figura 2.2: Esquema de evolução de um CA em função de aplicação de regras, tempo e observações de estados e processo (POLIDORI, 2004) .....	44
Figura 2.3: Representações através de grafos: A) um grafo qualquer; B) estrutura urbana da cidade de São Lourenço do Sul, RS, representada através das linhas axiais do sistema viário (TORALLES, 2013) .....	45
Figura 2.4: a) células e pontos superpostos espacialmente; b) grafo, representado por pontos e vetores; c) células, pontos e vetores, representando um sistema integrado de grafo com CA (TORALLES, 2013) .....	46
Figura 3.1: Sequência de procedimentos para elaboração da carta geotécnica de aptidão à urbanização (DINIZ & FREITAS, 2013) .....	76
Figura 3.2: Metodologia para elaboração de carta geotécnica do IPT: etapas e produtos (baseada em PRANDINI <i>et al.</i> , 1995) .....	87
Figura 3.3: Simbologia para identificação das unidades geotécnicas (VALENTE, 1999 <i>apud</i> DIAS, 1999) .....	93
Figura 3.4: Fases da cartografia geotécnica (DINIZ & FREITAS, 2013) .....	97
Figura 4.1: Seqüência geral de etapas para o mapeamento geotécnico da cidade de Pelotas .....	107
Figura 4.2: Sequência de procedimentos da etapa de inventário (primeira etapa).....	108
Figura 4.3: Esquema de desenvolvimento da 2º etapa do mapeamento .....	110
Figura 4.4: Procedimentos para elaboração do mapa de unidades geomorfológicas e dados morfométricos derivados do MDT (adaptado de Galdino da Silva <i>et al.</i> , 2015). .....	111
Figura 4.5: Sequência esquemática de procedimentos para elaboração dos mapas de suscetibilidades aos processos geodinâmicos .....	113
Figura 4.6: Esquema de elaboração da carta de aptidão à urbanização .....	115
Figura 4.7: Esquema de elaboração do mapa de estimativa de unidades geotécnicas conforme a metodologia do LAMGEO UFGRS/UFSC .....	116
Figura 4.8 - Fluxograma esquemático simplificado das etapas do método de mapeamento .....	117
Figura 5.1: Mapa da divisão política do município de Pelotas .....	119
Figura 5.2: gráfico de média mensal de precipitação em mm entre os anos de 1991 e 2014. Dados da Estação Agroclimatológica de Pelotas (Embrapa/UFPel), localizada a 31°52'00" de latitude Sul, 52°21'24" de longitude oeste e 13,24 metros de altitude.....	121

Figura 5.3: Bacias hidrográficas de Pelotas (baseado em: XAVIER, 2010; PMPel, 2009).....	122
Figura 5.4: Bacias hidrográficas urbanas de Pelotas (baseado em: XAVIER, 2010).....	123
Figura 5.5: Mapa Geomorfológico do Município de Pelotas (baseado em IBGE, 2003).....	126
Figura 5.6: Zonas de relevo no município de Pelotas (baseado em SOMBROECK, 1969 <i>apud</i> CUNHA & SILVEIRA, 1996).....	127
Figura 5.7: Províncias geomorfológicas do Rio Grande do Sul e mapa geológico simplificado da Planície Costeira (baseado em: AREJANO, 2006).....	129
Figura 5.8: Mapa Geológico de Pelotas elaborado a partir de vetores e atributos obtidos do Geobank da CPRM. Relevo texturizado pelo autor a partir de MNT SRTM TOPODATA (baseado em SANTOS <i>et al.</i> , 1989).....	130
Figura 5.9: Mapa de solos e zonas de relevo da área de estudo (baseado em CUNHA & SILVEIRA, 1996) .....	131
Figura 5.10: Mapa altimétrico da zona urbana de Pelotas e entorno, mostrando a clara separação entre os terraços e as planícies de inundação fluvial e lagunar .....	145
Figura 5.11 - Volume de água precipitado e duração dos eventos analisados por Hansmann. Fonte: Hansmann (2013).....	145
Figura 5.12: Inundação de 2004: ocupação pelas águas da planície de inundação do Canal Santa Bárbara, no local da rodoviária de Pelotas (PMPel, 2004).....	146
Figura 5.13: Poligonais do crescimento urbano inicial da cidade de Pelotas sobre mapa hipsométrico (XAVIER, 2010).....	147
Figura 5.14: Sistema de Drenagem e Proteção contra as Enchentes de Pelotas (baseado em ROTARY, 2001) .....	148
Figura 5.15: Manchete sobre inundações como fenômeno recorrente em Pelotas (DIÁRIO POPULAR, 2004 <i>apud</i> SANTOS DA SILVA, 2007).....	148
Figura 5.16: Simulação com base em MNT das áreas suscetíveis a ocupação pelas águas da chuva. Em azul: área com cota altimétrica menor do que 4,20 metros em relação ao nível normal das águas do Canal São Gonçalo (exagero vertical: 10 vezes).....	149
Figura 5.17: Parte da poligonal das planícies de inundação do Canal São Gonçalo, Arroio Pelotas, Canal Santa Bárbara e Laguna dos Patos (em azul com fundo rosado) sobre recorte de Imagem do satélite Peiades do ano de 2014 para parte da área de estudo .....	149
Figura 5.18: Loteamento Pontal da Barra durante a inundação de outubro de 2015 (IMAGENS GOOGLE, 2015).....	150
Figura 5.19: a: Voçoroca na vertente da Bacia do Arroio Pelotas (SILVA, R., 2009); b: ressurgimento da voçoroca no Balneário dos Prazeres (VASCONCELOS, 2013).....	151
Figura 5.20: Áreas de ocorrência de depósitos de argila mole na zona urbana de Pelotas, correspondentes aos Depósitos de Planície Lagunar 4 e Depósitos Aluviais. Classes geológicas conforme Xavier (2010).....	152

Figura 5.21: Sobreposição de vetores representados a partir do MDT urbano com os modelos SRTM TOPODATA (a esquerda) e ASTER GDEM2 (a direita).....	156
Figura 5.22: Comparação visual entre a representação do relevo de parte da área de estudo através dos modelos SRTM (à esquerda), SRTM TOPODATA (ao meio) e ASTER GDEM2 (à direita) .....	159
Figura 6.1: Esquema de elaboração do mapa geomorfológico .....	161
Figura 6.2: Poligonais das bacias hidrográficas (em magenta) que fazem parte da área de estudo (em vermelho), sobre composição colorida R7G5B3 de imagem do satélite Landsat 8 do ano 2016	163
Figura 6.3: Resultado da aplicação da metodologia de Galdino da Silva <i>et al.</i> (2015) para os compartimentos de relevo do Planalto Residual e do Planalto Rebaixado Marginal .....	164
Figura 6.4: Mapa de Unidades de Relevo (Geomorfológico).....	167
Figura 6.5: Mapa de Unidades Geológicas.....	173
Figura 6.6: Perfil esquemático transversal aos sistemas deposicionais da Planície Continental e da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (baseado em BARBOZA <i>et al.</i> , 2008).....	175
Figura 6.7: Mapa de Unidades Pedológicas .....	179
Figura 6.8: Perfil e paisagem de ocorrência típicos de Organossolo Háplico (STRECK <i>et al.</i> , 2008).....	181
Figura 6.9: Perfil e paisagem de ocorrência típicos de Planossolos da unidade Pelotas (STRECK <i>et al.</i> , 2008).....	182
Figura 6.10: Perfil e paisagem de ocorrência típicos de Argissolos Vermelho-Amarelos da unidade Tuia (STRECK <i>et al.</i> , 2008).....	183
Figura 6.11: Perfil e paisagem de ocorrência típicos de Gleissolos Melânico da unidade Banhado (STRECK <i>et al.</i> , 2008).....	184
Figura 6.12: Assinaturas espectrais utilizadas na classificação de imagem compostas pelas bandas de 1 a 7 do satélite Landsat 8 .....	188
Figura 6.13: Mapa de classificação do uso do solo .....	189
Figura 6.14: Localização das 138 sondagens SPT adotadas.....	192
Figura 6.15: Formas do relevo de acordo com a combinação de suas curvaturas horizontal e vertical (SILVA NETO, 2013).....	194
Figura 7.1: Estrutura hierárquica de critérios para aplicação do AHP ao mapeamento da suscetibilidade a inundações .....	203
Figura 7.2: Mapa de suscetibilidade a inundações .....	207
Figura 7.3: Imagens aéreas de áreas alagadas pela inundação de 2015 não presentes no mapeamento da PMPel: à esquerda - planície de inundação do Arroio Pelotas; à direita - planície de inundação do Canal São Gonçalo (PMPel, 2015) .....	208
Figura 7.4: Mapa da sobreposição das poligonais e locais atingidos pelas inundações dos anos 2004, 2009 e 2015 com a suscetibilidade a inundações .....	209

Figura 7.5: Área de conflito entre o mapeamento de suscetibilidade e a poligonal de atingimento da inundação de 2004, elaborada pela PMPel: à esquerda - conformação das propriedade sobre extrato do mapa de suscetibilidade; à direita - conformação das propriedades sobre imagem de satélite do ano 2016.....	210
Figura 7.6: Fotografias aéreas de área no Laranjal tomadas algumas horas após o pico da inundação de 2015: à esquerda - sobreposição com o mapeamento da PMPel; à direita: extremo sul da área mapeada. Ambas imagens apontam para existência de superestimação da área atingida (adaptado de PMPel, 2015).....	211
Figura 7.7: Estrutura hierárquica de critérios para aplicação do AHP ao mapeamento da suscetibilidade à erosão.....	215
Figura 7.8: Mapa de suscetibilidade à erosão laminar.....	218
Figura 7.9: Locais de investigação de ocorrência de processos erosivos.....	219
Figura 7.10: Processos erosivos no local de nº 1 .....	219
Figura 7.11: A (esquerda): processo erosivo no local de nº 2; b (direita): no local de nº 3.....	220
Figura 7.12: a: Processos erosivos no local de nº 4 ; b: Processos erosivos no local de nº 5.....	220
Figura 7.13: Mapa auxiliar (referência) de suscetibilidade à erosão, elaborado sem considerar o uso e a cobertura do solo.....	221
Figura 8.1: A esquerda: extrato do MDE TOPODATA utilizado na etapa geral do mapeamento progressivo; a direita: extrato o MDT Urbano utilizado na etapa de semidetalhe .....	223
Figura 8.2: Mapa de uso do solo da zona urbana de Pelotas .....	224
Figura 8.3: Mapa de Estimativa de Unidade Geotécnicas.....	225
Figura 8.4: Unidade SX3dla. Acima: gráfico indicando os percentuais com que ocorrem diferentes compacidades/consistências nas profundidades de 2, 4, 6 e 8 metros, em 66 sondagens. Abaixo: gráfico indicando os percentuais com que ocorrem diferentes texturas nas mesmas profundidades e mesmas sondagens. ....	227
Figura 8.5: Gráfico dos valores médios de Nspt da Unidade SX3dla. Eixo vertical: profundidade em metros; Eixo horizontal: valores de Nspt.....	229
Figura 8.6: Gráfico do Nspt médio das três sondagens da unidade SX5dpb2. Desvios padrões dos valores variando de 4 a 35%. Eixo vertical: Eixo vertical: profundidade em metros; Eixo horizontal: valores de Nspt.....	230
Figura 8.7: Unidade PVAdpb2 - Gráfico indicando os percentuais com que ocorrem diferentes compacidades e consistências nas profundidades de 2, 4, 6 e 8 metros, em 10 sondagens da unidade .....	230
Figura 8.8: Unidade PVAdpb2 - Grafico indicando os percentuais com que ocorrem diferentes texturas nas nas profundidades de 2, 4, 6 e 8 metros, em 10 sondagens da unidade. ....	231
Figura 8.9: Gráfico do Nspt médio das três sondagens da unidade PVAdpb2. Desvios padrões dos valores variando de 23 a 57%. Eixo vertical: profundidade em metros; Eixo horizontal: valores de Nspt .....	231



Figura 8.10: Unidade GM1dpfl - Acima: gráfico indicando os percentuais com que ocorrem diferentes compacidades e consistências nas profundidades de 2, 4, 6 e 8 metros, em 13 sondagens da unidade. Abaixo: grafico indicando os percentuais com que ocorrem diferentes texturas nas mesmas profundidades e sondagens .....	232
Figura 8.11: Gráfico do Nspt médio das sondagens da unidade GM1dpfl. Eixo vertical: profundidade em metros; Eixo horizontal: valores de Nspt.....	233
Figura 8.12: Unidade GM3dpfl (sondagens próximas ao Arroio Pelotas e ao Canal São Gonçalo) - Acima: gráfico indicando os percentuais com que ocorrem diferentes compacidades e consistências nas profundidades de 2, 4, 6 e 8 metros, em 13 sondagens da unidade. Abaixo: grafico indicando os percentuais com que ocorrem diferentes texturas nas mesmas profundidades e sondagens.....	234
Figura 8.13: Gráfico do Nspt médio das sondagens da unidade GM3dpfl representativas do perfil típico 2. Eixo vertical: profundidade em metros; Eixo horizontal: valores de Nspt .....	235
Figura 8.14: Unidade GM3dpfl (sondagens mais afastadas do Arroio Pelotas e ao Canal São Gonçalo e mais próximas dos Depósitos de Leques Aluviais) - Acima: gráfico indicando os percentuais com que ocorrem diferentes compacidades e consistências nas profundidades de 2, 4, 6 e 8 metros, em 13 sondagens da unidade. Abaixo: grafico indicando os percentuais com que ocorrem diferentes texturas nas mesmas profundidades e sondagens.....	236
Figura 8.15: Gráfico do Nspt médio das sondagens da unidade GM3dpfl representativas do perfil típico 2. Desvio padrão dos valores variando de 16 a 50%. Eixo vertical: profundidade em metros; Eixo horizontal: valores de Nspt.....	236
Figura 8.16: Unidade ESKdpcl - Acima: gráfico indicando os percentuais com que ocorrem diferentes compacidades e consistências nas profundidades de 2, 4, 6 e 8 metros, em 13 sondagens. Abaixo: gráfico indicando os percentuais com que ocorrem diferentes texturas nas mesmas profundidades e sondagens .....	237
Figura 8.17: Gráfico do Nspt médio das 13 sondagens da unidade ESKdpcl. Desvio padrão:43 a 62%. Eixo vertical: profundidade em metros; Eixo horizontal: valores de Nspt.....	238
Figura 8.18: Gráfico do Nspt médio da única sondagens da unidade GM1da. Eixo vertical: profundidade em metros; Eixo horizontal: valores de Nspt .....	238
Figura 8.19: Mapa das áreas de proteção ambiental, conforme o projeto de lei de alteração do 3º Plano Diretor de Pelotas, complementadas pelo autor.....	241
Figura 8.20: Sistema de proteção contra inundações .....	243
Figura 8.21: Estrutura hierárquica de critérios para aplicação do AHP ao mapeamento da aptidão à urbanização .....	246
Figura 8.22: Mapa preliminar de aptidão à urbanização da cidade de Pelotas.....	248
Figura 8.23 - a) vazios urbanos; b) áreas de preservação ambiental e cultural; c) vazios urbanos após a subtração das áreas de preservação ambiental e cultural. ....	250
Figura 8.24: Mapa dos vazios urbanos de Pelotas .....	250

Figura 8.25: Diagramas em formato de CA, representando: a) tensão gerada entre duas células; b) células incluídas na distribuição axial de caminho preferencial (verde); c) células incluídas na distribuição axial de buffer de caminho preferencial, com raio igual a uma célula (verde claro); d) células incluídas na distribuição de tensões do tipo polar, com vizinhança de raio igual a uma célula (azul claro e rosa); e) mesmo caso anterior, com vizinhança de raio igual a duas células; f) hipótese de células incluídas na distribuição difusa (baseado em: POLIDORI, 2004) .....	254
Figura 8.26: Simulação do crescimento da cidade de Canguçu / RS: a) mancha urbana no ano de 1967; b) mancha urbana após 40 interações do sistema; c) mancha urbana de 1964 sobreposta à imagem de satélite do ano 2013; d) mancha urbana, após 40 interações do sistema, sobreposta a imagem do satélite QuickBird, ano 2013 .....	255
Figura 8.27: Resultado dos testes de calibração e validação do modelo: a) mancha urbana de 1965; b) mancha urbana após 50% das interações; c) mancha urbana ao final do processo (2011). Imagem de fundo: satélite QuickBird, ano 2011 .....	255
Figura 8.28: Resultado da simulação do crescimento urbano de Pelotas: a) mancha urbana no ano 2015; b) mancha urbana no ano 2021; c) mancha urbana no ano 2032; d) mancha urbana no ano 2040.....	257
Figura 8.29: Mapa contendo a projeção do crescimento urbano para Pelotas até o ano 2040 .....	258
Figura 8.30: Agrupamento de vazios urbanos visando à análise da aptidão à urbanização .....	259
Figura 8.31: Gráficos do crescimento urbano nos vazios do grupo 1. À esquerda: crescimento em Km <sup>2</sup> (eixo y) por vazio (eixo x); À direita: crescimento percentual (eixo y) por vazio (eixo x).....	259
Figura 8.32: Unidades geotécnicas presentes nos vazios do grupo 1 .....	260
Figura 8.33: Níveis de aptidão à urbanização no grupo de vazios de nº 1.....	260
Figura 8.34: Gráficos do crescimento urbano nos vazios do grupo 2. À esquerda: crescimento em Km <sup>2</sup> (eixo y) por vazio (eixo x). À direita: crescimento percentual (eixo y) por vazio (eixo x).....	262
Figura 8.35: Unidades geotécnicas presentes nos vazios do grupo 2 .....	262
Figura 8.36: Níveis de aptidão à urbanização no grupo de vazios de nº 2.....	263
Figura 8.37: À esquerda: sobreposição da mancha de urbanização projetada sobre os níveis de aptidões à urbanização. À direita: visão 3D do relevo, mostrando como os níveis de aptidão se relacionam com a geomorfologia (abaixo) e com a extração mineral (acima). Exagero vertical= 7x. ....	263
Figura 8.38: Sobreposição da mancha de urbanização projetada sobre os diferentes níveis de aptidões à urbanização no vazio 35 e em parte do vazio 32.....	264
Figura 8.39: Gráficos do crescimento urbano nos vazios do grupo 3. À esquerda: crescimento em Km <sup>2</sup> (eixo y) por vazio (eixo x). À direita: crescimento percentual (eixo y) por vazio (eixo x).....	265
Figura 8.40: Unidades geotécnicas presentes nos vazios do grupo 3 .....	265
Figura 8.41: Níveis de aptidão à urbanização no grupo de vazios de nº 3.....	266
Figura 8.42: Visão tridimensional do grupo 3 de vazios urbanos, destacando-se (em roxo) as áreas pertencentes à unidade geotécnica GM1dpfl. Exagero vertical = 7x.....	266

Figura 8.43: Gráficos do crescimento urbano nos vazios do grupo 4. A esquerda: crescimento em km <sup>2</sup> (eixo y) por vazio (eixo x). A direita: crescimento percentual (eixo y) por vazio (eixo x).....	268
Figura 8.44: Unidades geotécnicas presentes nos vazios do grupo 4 .....	269
Figura 8.45: Níveis de aptidão à urbanização no grupo de vazios de nº 4.....	269
Figura 8.46:Visão tridimensional do relevo, projeção do crescimento urbano para 25 anos e classes de aptidão à urbanização do grupo 4. Exagero vertical = 7 x.....	270
Figura 8.47: Gráficos do crescimento urbano nos vazios do grupo 5. À esquerda: crescimento em Km <sup>2</sup> (eixo y) por vazio (eixo x); À direita: crescimento percentual (eixo y) por vazio (eixo x).....	271
Figura 8.48: Unidades geotécnicas presentes nos vazios do grupo 5 .....	271
Figura 8.49: Níveis de aptidão à urbanização no grupo de vazios de nº 5.....	272
Figura 8.50: Gráficos do crescimento urbano nos vazios do grupo 6. À esquerda: crescimento em Km <sup>2</sup> (eixo y) por vazio (eixo x). À direita: crescimento percentual (eixo y) por vazio (eixo x).....	273
Figura 8.51:Unidades geotécnicas presentes nos vazios do grupo 6 .....	274
Figura 8.52: Níveis de aptidão à urbanização no grupo de vazios de nº 6.....	274
Figura 8.53: Visão tridimensional do relevo e classes de aptidão à urbanização do grupo de vazios 6. Exagero vertical = 7 vezes .....	275
Figura 8.54: Gráficos do crescimento urbano nos vazios do grupo 7. À esquerda: crescimento em Km <sup>2</sup> (eixo y) por vazio (eixo x). À direita: crescimento percentual (eixo y) por vazio (eixo x).....	276
Figura 8.55: Unidades geotécnicas presentes nos vazios do grupo 7 .....	276
Figura 8.56: Níveis de aptidão à urbanização no grupo de vazios de nº 7.....	277
Figura 8.57: Variação da resistência dos solos da unidade geotécnica GM3dpfl. À esquerda: mapa mostrando a localização das sondagens A03, A11 e A28 em relação as unidade geotécnicas e a parte dos vazios do grupo 7. À direita: gráfico com a variação dos valores de N <sub>spt</sub> (eixo x) com a profundidade (eixo y).....	278
Figura 8.58: Imagem fotográfica da área do vazio 34, ao final do pico da inundação de 2015 (PMPel, 2015) .....	279
Figura 8.59: Gráficos do crescimento urbano nos vazios do grupo 8. À esquerda: crescimento em Km <sup>2</sup> (eixo y) por vazio (eixo x); À direita: crescimento percentual (eixo y) por vazio (eixo x).....	280
Figura 8.60: Unidades geotécnicas presentes nos vazios do grupo 8 .....	280
Figura 8.61: Níveis de aptidão à urbanização no grupo de vazios de nº 8.....	281
Figura 8.62: Mapa com a escala de prioridades de mapeamento futuro em escala de detalhe para os vazios urbanos .....	284
Figura 9.1:Zoneamento de usos do 1º Plano Diretor de Pelotas (baseado em: PELOTAS, 1968)....	289
Figura 9.2: Zoneamento de usos no 2º Plano Diretor de Pelotas.....	291
Figura 9.3: Crescimento urbano da cidade de Pelotas entre os anos de 1815 e 1916, tendo como referência a altimetria local .....	297

Figura 9.4: Crescimento urbano da cidade de Pelotas entre os anos de 1916 e 1953, tendo como referência a altimetria local .....	298
Figura 9.5: Crescimento urbano da cidade de Pelotas entre os anos de 1953 e 1988, tendo como referência a altimetria local .....	299
Figura 9.6: Sobreposição da mancha urbana de 1953 sobre o perímetro urbano de 1968. Em destaque, as áreas baixas ocupadas (baseado em PELOTAS, 1968).....	299
Figura 9.7: Potencial construtivo calculado para as zonas de uso do 1º PD.....	300
Figura 9.8: Zonas de uso do 1º PD em áreas sujeitas inundações .....	300
Figura 9.9: Zonas de uso e ocupação do 2º PD de Pelotas sobre mapa de suscetibilidade a inundações (à esquerda) e aptidão à urbanização (à direita).....	301
Figura 9.10: Loteamento Colina do Sol. À esquerda: poligonal do loteamento sobre o mapa hipsométrico do relevo; à direita e acima: perfil longitudinal AA (escalas horizontal e vertical diferentes); à direita e abaixo: simulação da inundação dos terrenos na inundação de 2004 (exagero vertical de 5 vezes) .....	302
Figura 9.11: Potencial construtivo calculado para as zonas de uso do 2º PD.....	302
Figura 9.12: Crescimento urbano da cidade de Pelotas entre os anos de 1988 e 2015, tendo como referência a altimetria local .....	303
Figura 9.13: Potencial construtivo calculado para as zonas de uso do 3º PD.....	304
Figura 9.14: Vazios urbanos de baixa e muito baixa aptidão à urbanização sobre os quais é permitido o parcelamento do solo e atribuído potencial construtivo de 2,1 vezes a área dos terrenos.....	304

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Evolução da cartografia geotécnica, antes da 2ª Guerra Mundial.....	59
Tabela 3.2: Evolução histórica da cartografia geotécnica do fim da Segunda Guerra Mundial até 1965 .....	60
Tabela 3.3: Correlação entre denominações e tipos de cartas e/ou mapas geotécnicos .....	68
Tabela 3.4: Atributos a serem utilizados na confecção da carta de suscetibilidade.....	73
Tabela 3.5: Escalas das Cartas de Suscetibilidade, Aptidão à Urbanização e Risco Geológico.....	79
Tabela 3.6: Classificação dos mapas geotécnicos, conforme a metodologia do IAEG.....	81
Tabela 3.7: Classificação das Cartas Geotécnicas pela Metodologia Francesa.....	83
Tabela 3.8: Ordem das etapas de trabalho de mapeamento geotécnico .....	90
Tabela 3.9: Procedimentos básicos para elaboração de uma carta geotécnica .....	96
Tabela 3.10: Síntese de procedimentos gerais para elaboração de cartas geotécnicas, de acordo com a metodologia do GEGEP .....	98
Tabela 5.1: Evolução populacional do município de Pelotas entre os anos de 1970 e 2010. ....	119
Tabela 5.2: unidades de solos da área de estudo, suas classificações, zona de relevo a qual pertencem e respectivas áreas .....	132
Tabela 5.3: Dados prospectados a cerca do meio físico de Pelotas.....	141
Tabela 5.4: Série histórica das maiores inundações em Pelotas entre os anos de 1941 e 2015 .....	144
Tabela 5.5: Atributos relevantes para o mapeamento da suscetibilidade e da aptidão à urbanização .....	153
Tabela 5.6: Padrão de Exatidão Cartográfica Altimétrica dos Pontos Cotados e do MDT, MDE e MDS para a produção de produtos cartográficos digitais. ....	155
Tabela 5.7: Parâmetros estatísticos do resultado da comparação das altitudes do MDT Urbano e dos pontos de controle.....	157
Tabela 5.8: Parâmetros estatísticos do resultado da comparação das altitudes dos MDE ASTER GDE2 E SRTM TOPODATA e dos pontos de controle .....	157
Tabela 5.9: Escalas das etapas geral e intermediária do mapeamento.....	159
Tabela 6.1: Mapas geomorfológicos utilizados no mapeamento dos compartimentos de relevo .....	162
Tabela 6.2: Classificação das formas de relevo. Modificado de Castro Júnior et al. (2006).....	162
Tabela 6.3: Classificação taxonômica, período geológico e dados morfométricos das classes de relevo mapeadas.....	166
Tabela 6.4: Unidades geológicas mapeadas .....	172
Tabela 6.5: Unidades de solos mapeadas na zona urbana do município de Pelotas, para fins geotécnicos .....	178

Tabela 6.6: Classes de solos da área de estudo com algumas de suas principais características ...	187
Tabela 6.7: Parâmetros morfométricos das bacias hidrológicas que fazem parte da área de estudo, no município de Pelotas .....	190
Tabela 7.1: Classes de suscetibilidade e seus pesos .....	196
Tabela 7.2: Suscetibilidade morfométrica as bacias da área de estudo: atribuição de pesos ao diferentes parâmetros morfométricos utilizados .....	199
Tabela 7.3: Definição de pesos para as unidades de solos do PI Pedologia.....	199
Tabela 7.4: definição de pesos para as unidades do PI Geologia.....	200
Tabela 7.5: Definição de pesos para as classes do PI Isodeclividades .....	200
Tabela 7.6: Definição de pesos para as classes do PI Hipsometria.....	200
Tabela 7.7: Definição de pesos para o PI Uso do Solo .....	201
Tabela 7.8: Escala numérica de Saaty com os pesos para o julgamento comparativo .....	202
Tabela 7.9: Matriz de comparação pareada entre os PIs que compõem a análise da suscetibilidade a inundações .....	203
Tabela 7.10: Cálculo dos pesos de cada um dos PI que compõem a análise da suscetibilidade a inundações.....	204
Tabela 7.11: Índice de consistência randômico.....	205
Tabela 7.12: Valores calculados para $A_w$ .....	206
Tabela 7.13: Definição de pesos de erodibilidade - unidades do PI Pedologia.....	213
Tabela 7.14: Definição de pesos para as classes do PI Isodeclividades .....	213
Tabela 7.15: Definição de pesos para a curvatura do relevo .....	214
Tabela 7.16: Definição de pesos para o PI Uso do Solo .....	214
Tabela 7.17: Definição do pesos para o PI Densidade da cobertura vegetal.....	215
Tabela 7.18: Matriz de comparação pareada entre os PI que compõem a análise da suscetibilidade à erosão.....	216
Tabela 7.19: Cálculo dos pesos de cada um dos PIs que compõem a análise da suscetibilidade à erosão.....	216
Tabela 7.20: Valores calculados para $A_w$ .....	217
Tabela 8.1: Classes do Mapa de Estimativas de Unidade Geotécnicas .....	226
Tabela 8.2: Valores de $N_{spt}$ médios para Unidade SX3dla.....	228
Tabela 8.3: Materiais, texturas e estados de compactação e consistência das sondagens da unidade SX5dpb2.....	229
Tabela 8.4: Valores de $N_{spt}$ médios para Unidade GM1dpfl.....	233
Tabela 8.5: Valores de $N_{spt}$ médios para o perfil típico 1 da Unidade GM3dpfl .....	235

Tabela 8.6: Materiais, texturas e estados de compactação e consistência das sondagens da unidade GM1da.....	238
Tabela 8.7: Unidades geotécnicas e seus pesos.....	245
Tabela 8.8: Matriz de comparação pareada entre os PIs que compõem o mapeamento da aptidão à urbanização.....	246
Tabela 8.9: Cálculo dos pesos de cada um dos PI que compõem a análise da suscetibilidade à erosão.....	247
Tabela 8.10: Valores calculados para $A_w$ .....	247
Tabela 8.11: Esquema e organização dos atributos, a partir da sua capacidade de gerar atração ou resistência ao crescimento urbano.....	253
Tabela 8.12: Atributos utilizados na validação (calibração) do modelo.....	256
Tabela 8.13: Atributos acrescidos para simulação do crescimento entre os anos 2015 e 2040.....	256
Tabela 8.14: Percentuais de ocorrência dos diferentes níveis de suscetibilidade nos terrenos pertencentes ao grupo 1 de vazios urbanos.....	261
Tabela 8.15: Percentuais de ocorrência dos diferentes níveis de suscetibilidade nos terrenos pertencentes ao grupo 2 de vazios urbanos.....	264
Tabela 8.16: Percentuais de ocorrência dos diferentes níveis de suscetibilidade nos terrenos pertencentes ao grupo 3 de vazios urbanos.....	268
Tabela 8.17: Percentuais de ocorrência dos diferentes níveis de suscetibilidade nos terrenos pertencentes ao grupo 4 de vazios urbanos.....	270
Tabela 8.18: Percentuais de ocorrência dos diferentes níveis de suscetibilidade nos terrenos pertencentes ao grupo 5 de vazios urbanos.....	272
Tabela 8.19: Percentuais de ocorrência dos diferentes níveis de suscetibilidade nos terrenos pertencentes ao grupo 6 de vazios urbanos.....	275
Tabela 8.20: Percentuais de ocorrência dos diferentes níveis de suscetibilidade nos terrenos pertencentes ao grupo 7 de vazios urbanos.....	277
Tabela 8.21: Percentuais de ocorrência dos diferentes níveis de suscetibilidade nos terrenos pertencentes ao grupo 8 de vazios urbanos.....	281
Tabela 8.22: Matriz de comparação pareada entre os parâmetros que compõem o cálculo do índice de preferência de mapeamento dos vazios urbanos.....	283
Tabela 8.23: Cálculo dos pesos de cada um dos parâmetros que compõem o cálculo do índice de preferência de mapeamento dos vazios urbanos.....	283
Tabela 8.24: Valores dos parâmetros utilizados para o cálculo da ordem de prioridade para mapeamento futuro, em escala de detalhe, dos vazios urbanos.....	285

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 7.1: Suscetibilidade morfométrica das bacias de drenagem .....	197
Equação 7.2: Razão de consistência, onde: IC é o índice de consistência e IR é o índice de consistência randômico .....	205
Equação 7.3: Índice de consistência, onde: $\lambda_{\text{máx}}$ é o autovetor máximo e $n$ o número de elementos da matriz de comparação pareada (ordem da matriz) .....	205
Equação 7.4 - Autovetor máximo, onde $[A_w]_i$ é a matriz resultante do produto da matriz de comparação pelos pesos calculados e $(w_i)$ são os pesos calculados. ....	205
Equação 7.5: Suscetibilidade à enchentes/inundações, onde: MDB = morfologia das bacias hidrográficas; P = pedologia; G = geologia; ID = isodeclividades; HP = hipsometria; e US = uso do solo .....	206
Equação 7.6: Suscetibilidade à erosão laminar, onde: US = uso do solo; P = pedologia; ID = isodeclividades; CR = curvatura do relevo; CV = densidade da cobertura vegetal .....	217
Equação 8.1 - Aptidão à urbanização, onde: SEI = suscetibilidade à inundações; SE = suscetibilidade à erosão laminar; UG = unidades geotécnicas; AP = áreas protegidas. ....	248
Equação 8.2: Índice de Preferência (IP), onde: AC25 e AC12 são o crescimento de área urbanizada no vazio nos prazos, respectivos, de 25 e 12 anos; PCU25 e PCU 12 são o crescimento percentual de área urbanizada no vazio (25 e 12 anos); DI é a distância do centro do vazio a um ponto de referência da malha urbana e; APT é a composição dos diferentes níveis de aptidão à urbanização presentes no vazio .....	283



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACI	Associação de Cartografia Internacional
AEIAC	Área Especial de Interesse do Ambiente Cultural
AEIAN	Área Especial de Interesse do Ambiente Natural
AEIS	Área Especial de Interesse Social
AHP	Analytic Hierarchy Process
AM/FM	Automated Mapping / Facility Mapping
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
CA	Cellular Automata
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Design
CBGE	Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental
CIAM	Congresso Internacional de Arquitetura Moderna
COHAB	Companhia Habitacional
DSG	Diretoria de Serviços Cartográficos
CPRM	Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
EIV	Estudo de Impacto de Vizinhança
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GDEM	Global Digital Elevation Model
GEGEP	Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas e Planícies
IAEG	International Association of Engineering Geology
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IG	Instituto Geológico
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPPUR	Instituto de Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional
IPT/SP	Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo
IPTU	Imposto Predial e Territorial
LAMGEO	Laboratório de Mapeamento Geotécnico de Grandes Áreas
MDE	Modelo Digital de Elevação

MDT	Modelo Digital de Terreno
MDS	Modelo Digital de Superfície
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
PMPel	Prefeitura Municipal de Pelotas
PMSP	Prefeitura Municipal de São Paulo
PNPDEC	Plano Nacional de Proteção e Defesa Civil
PUCE	Pattern, Unit, Component, Evaluation
SBCGE	Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental
SGBD	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SisBCS	Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos
SPT	Standart Penetration Test
SRH	Secretaria de Recursos Hidricos
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TIN	Triangular Irregular Network
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UFPE	Universidade Fedral de Pernambuco
UNB	Universidade Nacional de Brasília
UNESCO	United National Educational Scientific and Cultural Organization
UNESP	Universidade do Estado de São Paulo
USP	Universidade de São Paulo
ZERMOS	Zonas Expostas ao Risco de Movimentos do Solo

## Capítulo 1 INTRODUÇÃO

---

Os sistemas físicos e ambientais das cidades brasileiras foram fortemente impactados pelo crescimento populacional ocorrido após as primeiras décadas do século passado. Como reflexo da promoção de políticas desenvolvimentistas e da consequente intensificação do processo de industrialização da economia nacional, as cidades, em geral, receberam um grande contingente de pessoas oriundas do meio rural, em um processo de urbanização caracterizado pela velocidade e intensidade: em pouco mais de meio século, o país se transformou de uma nação agrária, em uma nação predominantemente urbana. Da segunda década do século passado até a primeira década do século XXI, a taxa de urbanização nacional passou de 10,7% para 84,35%. Esse fato representa uma transformação quantitativa com profundas decorrências qualitativas no que se refere à estruturação do ambiente urbano. A concentração populacional e o crescimento urbano, associados às condições estruturais e econômicas das cidades brasileiras, provocaram numerosos conflitos sociais, econômicos e ambientais.

Os baixos salários, característicos do capitalismo industrial nacional, somados à apropriação do espaço urbano como mercadoria e capital especulativo, restringiram as possibilidades de acesso às áreas urbanas dotadas de infraestrutura e facilidades. Diante disso, as ocupações de áreas periféricas, ambientalmente frágeis ou predispostas à ocorrência de processos geodinâmicos, passaram a fazer parte da dinâmica locacional urbana, e uma parcela da população, notadamente a mais desfavorecida, restou sujeita aos riscos associados às erosões, escorregamentos, enxurradas, inundações e outras formas de desastres.

Revela-se consensual a necessidade de intervenção no processo de crescimento e desenvolvimento das cidades brasileiras, na busca por um espaço sócioambiental mais equilibrado (ROLNIK, 1994), assim como há consenso acerca do papel central do urbanismo nesse processo (FERREIRA & FERREIRA, 2011; NAMUR & BOEIRA, 2005; OLIVEIRA, 2011). Mas a história do planejamento das cidades brasileiras tem sido cativa de uma concepção de cidade e de estratégia de política urbana baseadas em uma visão que une a tradição do urbanismo higienista a um projeto tecnicista de cidade ideal e a uma política desenvolvimentista baseada em pesados aportes estatais (ROLNIK *et al.*, 2012). O modelo planejado de cidade exigia investimentos em infraestrutura e equipamentos que estavam

muito além da capacidade financeira dos municípios, e a legislação produzida, estática e rígida, mostrou-se inadapável à dinâmica urbana. Na prática, muito pouco das obras e melhoramentos previstos nos planos diretores municipais foram executados, e as cidades, em sua maior parte, pouco se relacionavam com as normas e padrões previstos na legislação de uso e ocupação do solo. Com isso, colocaram em dúvida a eficácia dos modelos de planejamento aplicados e de seus instrumentos.

Após 1992, tanto o urbanismo como o planejamento urbano no Brasil se dão sobre a égide da Constituição de 1988, a qual, pela primeira vez, inclui um capítulo específico para a política urbana e que foi posteriormente regulamentado através do Estatuto da Cidade (Lei 10.257/2001). O Estatuto ratificou a já constitucionalmente estabelecida função social da propriedade e estabeleceu uma série de instrumentos jurídicos e urbanísticos que objetivam promover e garantir o direito à cidade. Até a promulgação do Estatuto da Cidade, a maioria dos municípios brasileiros, em especial os pequenos e médios, não possuíam um instrumento jurídico minimamente adequado ao planejamento e controle do uso do solo, não dispondo, sequer, de dados e informações espaciais básicas sobre o seu território.

Da implantação do Estatuto da Cidade ao fim da primeira década deste século, as cidades brasileiras passaram por profundas mudanças. O processo de urbanização, apesar de uma pequena queda em relação às décadas anteriores, continua elevado e com direcionamento deslocado das grandes metrópoles, para as médias e pequenas cidades. O crescimento da economia nacional e a conseqüente formação de uma “nova classe média” agravaram os antigos problemas urbanos de mobilidade, impacto ambiental, violência e infra-estrutura (FERNANDES, 2013). Aparentemente, os planos diretores, elaborados com base na nova lei, não se mostraram capazes de reverter, ou pelo menos, minimizar os problemas urbanos, aumentando a descrença no planejamento urbano e gerando um novo ceticismo: agora, sobre o Estatuto. Mas o que demonstra a avaliação qualitativa dos planos diretores dos municípios brasileiros, realizada em 2011, por iniciativa do Ministério das Cidades, é que essa incapacidade se deve muito mais à má aplicação da lei do que a eventual ineficácia de seus instrumentos (SANTOS JUNIOR & MONTANDON, 2011)

Desta forma, a inépcia política, institucional e técnica dos entes governamentais, em especial os municípios, em frear o processo de mercantilização, promover a inclusão socioespacial e reverter os problemas socioambientais urbanos, não pode diminuir a importância do planejamento, enquanto ferramenta técnica e política de interferência nos processos de produção e reprodução das cidades. A redução dos problemas sociais e ambientais, decorrentes do crescimento urbano, passa, necessariamente, pela intervenção

estatal e manifesta a importância do urbanismo, enquanto técnica e ciência multidisciplinar, no processo de ordenação dos espaços da urbe.

Entre os diferentes problemas ocorridos na aplicação do Estatuto das Cidades e apontados pela avaliação do Ministério das Cidades, destaca-se a inadequada demarcação territorial de diretrizes e instrumentos do plano diretor, devida, principalmente, **à deficiência na leitura técnica**, a baixa capacidade institucional e técnica dos municípios e **a inexistência ou precariedade de cadastros e informações básicas acerca do território**. A elaboração do plano diretor, com base no Estatuto das Cidades, deve partir de um processo de leitura local, o qual constitui a base para a definição do macrozoneamento de diretrizes do planejamento e, a partir dessas, das normas de uso e ocupação do solo urbano. Por sua vez, o princípio da compatibilidade entre a capacidade de infraestrutura, **as condições do meio físico**, a preservação ambiental, o uso e ocupação pré-existentes e os objetivos e estratégias do planejamento devem orientar a leitura da cidade e, por consequência, o macrozoneamento.

Desta forma, mostra-se fundamental o conhecimento da realidade física local, pois, conforme define Ferreira dos Santos (2004), o planejamento é um processo que envolve a coleta, organização e análise sistêmica das informações para tomada de decisões acerca das melhores alternativas de aproveitamento dos recursos do meio planejado. A identificação das aptidões e fragilidades do meio físico, assim como a previsão do impacto da ação humana, são fundamentais para que o planejamento do uso e ocupação do solo esteja em conformidade com as características físicas e ambientais do território. O conhecimento geotécnico de um local, área ou região é base para as intervenções sobre o meio físico. A análise geotécnica varia em função do objetivo e da escala de trabalho e, para médias e grandes escalas, as propriedades do meio físico são representadas, fundamentalmente, através de mapas e cartas. Sendo os principais objetos da cartografia geotécnica, o mapa e a carta geotécnica apresentam-se como instrumentos fundamentais de análise e sistematização integradas dos processos do meio, permitindo o conhecimento e a abordagem de problemas que podem ocorrer quando da implementação de atividades com modificações significativas do ambiente.

É pensamento dominante no meio técnico-científico que a aplicação por excelência da cartografia geotécnica se refere ao planejamento territorial, em especial o urbano (PELOGGIA, 1997). Entretanto, a despeito da reconhecida importância da cartografia geotécnica como fonte de informação sobre o meio planejado, muitos municípios brasileiros elaboraram sua legislação urbanística, pré e pós Estatuto das Cidades, sem disporem, entre

outras informações territoriais básicas, de cartas ou mapas geotécnicos. Esse fato, por si só, demonstra a urgência de investimentos e estudos na obtenção de dados básicos, elaboração de mapas e cartas, qualificação de equipes, entre outros encaminhamentos. Urgência que se tornou ainda mais preponderante com a entrada em vigor das leis que instituíram a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil e que determinaram a criação do cadastro nacional de municípios "com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos" (leis 12.340/2010 e 12.608/2012). As referidas leis impõem aos municípios cadastrados a elaboração do mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência dos citados processos geodinâmicos e da carta geotécnica de aptidão à urbanização.

No Brasil, o processo de mapeamento geotécnico é relativamente novo, se comparado com os demais países que já o utilizam como instrumento de auxílio no planejamento territorial (FRANCO *et al.*, 2010). Os trabalhos nacionais de mapeamento geotécnico, em geral, estão relacionados a grupos de pesquisa de algumas instituições de ensino ou institutos de pesquisas, com destaque para o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo), o Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP), o Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro e o Laboratório de Mapeamento Geotécnico da UFRGS, posteriormente continuado na UFSC.

A análise do meio físico no planejamento do crescimento espacial da urbe é regularmente requerida desde a promulgação da Lei Federal 6.766/1979 (Lei Lehman), a qual impõe restrições ao parcelamento do solo em terrenos sujeitos a alagamentos, com declividade superior a 30%, onde as condições geológicas não aconselham a edificação, entre outros, e em áreas de risco definidas no Plano Diretor. Apesar da exigência legal, com poucas exceções, as iniciativas dos governos municipais na utilização do mapeamento geotécnico como ferramenta de auxílio ao planejamento do uso e ocupação do solo, são isoladas e pouco significativas, ao se considerar a diversidade de problemas do meio físico relacionados ao processo de urbanização.

A inexistência de dados básicos em escala apropriada e os altos custos associados à investigação e ao mapeamento geotécnico estão entre os principais obstáculos ao uso da cartografia geotécnica como prática de planejamento no Brasil. Além de investimentos governamentais em pesquisa, aquisição de dados básicos, elaboração de mapas e cartas, qualificação de equipes técnicas, entre outros, há uma premente necessidade de investigações de métodos de otimização dos processos de mapeamento, de forma a melhor adequar a cartografia geotécnica à realidade financeira e administrativa de significativa parcela dos municípios nacionais.

## 1.1 PREMISSAS BÁSICAS

Do início da utilização da cartografia geotécnica no país, aos dias atuais, muitas metodologias de mapeamento, que envolvem desde a obtenção de dados básicos, até a apresentação e interpretação destes, foram investigadas e propostas. Partindo das metodologias estrangeiras e realizando experimentações e adaptações à realidade nacional (fisiográficas, científicas e institucionais), pesquisadores de diversas instituições propuseram novos métodos que acabaram por formar o arcabouço do conhecimento científico na área. Os trabalhos científicos mais recentes, em geral, são conformados à linha metodológica desenvolvida ou adotada pela instituição à qual os pesquisadores estão ligados.

Embora seja fundamental uma visão geral sobre a cartografia geotécnica e sobre os principais métodos desenvolvidos e utilizados internacionalmente, o atual estágio de desenvolvimento da cartografia geotécnica nacional a credencia como base de conhecimento lógico para novas investigações metodológicas.

Em geral, as diferentes metodologias nacionais são conformadas pelas características das regiões às quais estão inseridas as instituições de pesquisa, possuindo, dessa forma, um certo caráter regional. Em decorrência disso, é comum a adoção de metodologias que se relacionam às características físicas e à disponibilidade de dados da região onde as mesmas serão aplicadas. Por outro lado, a existência de pontos em comum entre os métodos possibilita que os pesquisadores se apropriem de conceitos utilizados em uma ou mais metodologias para preencher as lacunas do método regional. Ademais, o emprego de metodologias previamente aplicadas às regiões de estudo, ou a regiões com características fisiográficas semelhantes, permite a apropriação de uma série de diagnósticos comuns acerca do meio físico.

Desta forma, são pressupostos do presente estudo: (i) que o arcabouço do conhecimento científico nacional na cartografia geotécnica deve alicerçar novas pesquisas no desenvolvimento de novas metodologias, ou na aplicação das existentes, a novos contextos fisiográficos; (ii) que a metodologia adotada para definição das unidades geotécnicas deve ser a que melhor se adapte às condições do meio físico e à disponibilidade de dados para região de estudo; (iii) que a existência de pontos de convergência entre as diferentes metodologias permite a associação de diversas formulações, ampliando o alcance e complementando a(s) metodologia(s) adotada(s) no que for necessário.

## 1.2 NÍVEIS DE ABORDAGEM

Ressalvando-se as questões metodológicas, dois fatores, em geral, são preponderantes na definição do nível de abordagem no mapeamento geotécnico: o objetivo do trabalho e, quando há necessidade de aproveitamento de informações pré-existentes, a escala dos dados fonte (resolução). Quando o objetivo principal é subsidiar ações de planejamento do uso e ocupação do solo da cidade, duas premissas se impõem: (i) o conhecimento da realidade física local (urbana) determina a necessidade do conhecimento do cenário físico regional, já que muitos processos locais estão articulados a processos regionais; (ii) a elaboração de planos urbanos envolvem análises e definições em múltiplas escalas, que compreendem, desde o espaço urbano como um todo, até pequenas porções do território.

Assim sendo, o presente trabalho adota a premissa de que o planejamento do uso e ocupação do solo requer informações sobre o território em escalas variáveis, compreendendo, desde uma visão abrangente da dinâmica do meio físico, até um olhar mais aprofundado em determinadas áreas, que podem ser alcançados através de um processo progressivo de detalhamento territorial.

## 1.3 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO E CRESCIMENTO URBANO

Além da resolução dos problemas físicos ambientais instalados, um dos maiores desafios do planejamento urbano consiste em planificar o crescimento espacial da cidade, de forma racional e sustentável. Para o enfrentamento desta tarefa, é fundamental que o planejador disponha de dados sobre o meio físico que subsidiem a definição das melhores áreas para a expansão e a densificação local, como é o caso das informações geotécnicas. Entre as diferentes formas do crescimento urbano, o crescimento por extensão, ao incorporar ao uso urbano do solo áreas que anteriormente eram destinadas às atividades típicas rurais, ou estavam sem uso em virtude da especulação imobiliária, é o que maior impacto causa ao meio físico da cidade. Diante disso, o mapeamento e a caracterização geotécnica das áreas propensas à mudança de uso do solo devido à expansão da cidade revela-se de grande valia ao seu planejamento, embora, por outro lado, determine a necessidade de um estudo prévio da morfologia da cidade e de sua dinâmica de crescimento.

O crescimento urbano, em virtude de seu caráter múltiplo e complexo, de suas causas e de seus efeitos, tem sido objeto de estudo por diferentes campos do conhecimento (POLIDORI, 2004; SALOMONI, 2008). Significativos esforços da investigação científica têm possibilitado um melhor entendimento sobre os mecanismos de produção e reprodução da cidade. No



campo da modelagem urbana, diversos estudos mostram o potencial dos modelos em apreender os processos e capturar os fatores que condicionam a dinâmica espacial urbana e, a partir desses, simular o crescimento local. Desta forma, os modelos de simulação apresentam-se como uma ferramenta válida para determinação do sentido e da intensidade do crescimento da urbe, e seu uso conjunto com os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) possibilita uma série de cruzamentos de dados e análises espaciais que podem ser aplicadas no mapeamento das áreas sujeitas à ocupação futura e, por consequência, objetos da análise geotécnica.

#### 1.4 OBJETIVOS

A partir da apresentação inicial da temática da urbanização, do crescimento urbano e dos problemas associados ao meio físico dela decorrentes, da necessidade do planejamento da expansão racional e sustentável da cidade e do importante papel desempenhado pela cartografia geotécnica como fonte de informações sobre o meio planejado, define-se como objetivo geral da pesquisa: **contribuir com o desenvolvimento de instrumentos de auxílio ao planejamento do crescimento sustentável da cidade, por meio da estruturação, com base nas metodologias elaboradas e aplicadas no país, de um procedimento progressivo de mapeamento geotécnico que incorpore a análise do crescimento da cidade como etapa de sua aplicação.**

Na busca da consecução do objetivo geral, define-se como objetivos específicos:

- a) Revisar o conhecimento e eleger, dentre as consagradas no meio técnico-científico nacional, uma ou mais metodologias de mapeamento geotécnico voltadas ao planejamento urbano e adequadas às condições de estudo e ao objetivo geral da pesquisa;
- b) Definir um procedimento que, em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), combine a simulação e análise do crescimento urbano com mapeamento dos vazios urbanos, permitindo, desta forma, a seleção de áreas prioritárias ao mapeamento e à caracterização geotécnica;
- c) Aplicar os procedimentos metodológicos a uma realidade física delimitada, afim de determinar sua validade e limitações em produzir, em tese, informações aplicáveis ao planejamento do uso e ocupação do solo urbano;

- d) Confrontar os resultados do mapeamento geotécnico com legislação urbanística e ambiental local, com o intuito de validar ou refutar a capacidade desses em subsidiar o processo de planejamento.

Por fim, pretende-se, com este trabalho, contribuir para o avanço do conhecimento científico na área da cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano, através: a) da análise crítica da aplicabilidade dos métodos clássicos de mapeamento geotécnico ao planejamento urbano e ao ambiente da cidade; b) da estruturação de uma metodologia de mapeamento direcionada ao planejamento do crescimento espacial da cidade; c) da demonstração da importância e aplicabilidade da informação geotécnica como subsídio à definição das formas adequadas de uso e ocupação do solo urbano.

## 1.5 QUESTÕES DE PESQUISA

Apesar do histórico de insucesso de sua prática no Brasil, o planejamento urbano continua sendo o melhor instrumento de que dispõe o poder público para o enfrentamento dos problemas urbanos. E, como visto, as informações acerca do meio físico planejado, em especial suas potencialidades e limitações aos diferentes usos, constituem-se base para o desenvolvimento de projetos e ações que objetivem o ordenamento racional e sustentável do solo urbano. Desta forma, a cartografia geotécnica desempenha um papel fundamental como fonte de informações capaz de dar subsídio ao processo de planejamento territorial da urbe.

A despeito de sua relevância, quando considerados a extensão territorial e a diversidade da fisiografia brasileira, pode-se afirmar que a prática do mapeamento geotécnico, em escala e conteúdo compatíveis com o planejamento urbano, é incipiente no país. Há carência tanto de dados temáticos básicos (geologia, geomorfologia, pedologia, hidrologia, entre outros), quanto da investigação e produção de cartas geotécnicas que retratem as diferentes realidades físicas e geográficas dos municípios brasileiros. Além do mais, apesar da afirmação reiterada de sua função precípua de auxílio ao planejamento territorial, a maioria dos procedimentos da cartografia geotécnica no Brasil possuem um caráter mais geral, havendo, por consequência, necessidade permanente de investigação de métodos direcionados ao uso do mapeamento geotécnico nos processos de planejamento territorial e urbano.

Neste contexto, a presente pesquisa procura dar resposta às seguintes questões gerais: (i) é possível, com base no conhecimento científico nacional acumulado em cartografia

geotécnica, estruturar uma metodologia de mapeamento direcionada ao planejamento do crescimento sustentável das cidades nacionais?; (ii) a incorporação da análise do crescimento urbano, como etapa da metodologia de mapeamento progressivo, pode otimizar o processo?; (iii) a metodologia é capaz de apresentar bons resultados, quando aplicada à realidade física delimitada, como a do município de Pelotas?; (iv) os resultados obtidos se mostram capazes de subsidiar a definição de diretrizes e normas de uso e ocupação do solo?

## 1.6 HIPÓTESES

Buscando orientar a construção das respostas às questões de pesquisa e aos esforços de investigação, foram estabelecidas as seguintes hipóteses:

- a) Os procedimentos metodológicos desenvolvidos no âmbito da pesquisa nacional e as experiências de mapeamento geotécnico acumuladas constituem-se em uma sólida base à estruturação de metodologias específicas voltadas ao planejamento do crescimento sustentável da cidade;
- b) A simulação e análise do crescimento da cidade, em combinação com o mapeamento de seus vazios, permite, enquanto etapa do processo de mapeamento geotécnico, direcioná-lo a porções do território que, muito provavelmente, irão sofrer a pressão da urbanização e, desta forma, reduz os esforços necessários a sua consecução;
- c) O confronto entre as legislação urbanística e ambiental, resultantes de processos de planejamento que não contaram com o aporte da informação geotécnica, e os resultados do mapeamento geotécnico, permitem identificar conflitos parciais entre seus regramentos e a realidade física local e, assim, valida a capacidade do mapeamento em subsidiar o planejamento da cidade.

## 1.7 O CASO DE ESTUDO

Significativa parcela das pesquisas científicas que envolvem o mapeamento geotécnico trabalha baseada em estudos de casos, ou seja, de acordo com uma realidade delimitada. A metodologia é largamente aplicada para análise de um caso concreto ou de uma situação particular, que ilustra ou aos quais se aplica um determinado conjunto de conhecimentos e de competências e permite uma melhor compreensão dos conhecimentos gerais e abstratos, por meio de sua verificação/transposição para uma situação concreta.

Os estudos de caso, entre outras qualidades: (i) estimulam novas descobertas, em função da flexibilidade do seu planejamento; (ii) enfatizam a multiplicidade de dimensões de um problema, focalizando-o como um todo; (iii) apresentam simplicidade nos procedimentos, além de permitir uma análise em profundidade dos processos e das relações entre eles, e; (iv) se caracterizam pelo estudo de uma unidade, bem delimitada e contextualizada, com a preocupação de não analisar apenas o caso em si, como algo à parte, mas o que ele representa dentro e a partir do todo (VENTURA, 2007). Segundo Yin (2003), o estudo de caso representa uma investigação empírica e compreende um método abrangente, com a lógica do planejamento, da coleta e da análise de dados. Pode incluir tanto estudos de caso únicos, quanto múltiplos, assim como abordagens quantitativas e qualitativas de pesquisa.

Assim sendo, a presente pesquisa adota o estudo de caso como forma para consecução de seus objetivos. A área escolhida faz parte do município de Pelotas, situado ao sul do Estado do Rio Grande do Sul, no Brasil (Figura 1.1). Com 342.053 habitantes (IBGE, 2014), Pelotas é o terceiro município mais populoso do estado e o de maior população da região sul do Rio Grande do Sul. Seu território divide-se entre o Planalto Sul-Riograndense (porção noroeste) e a Planície Costeira Sul Brasileira (porção sudeste), sendo que a última abriga a zona urbana do município.

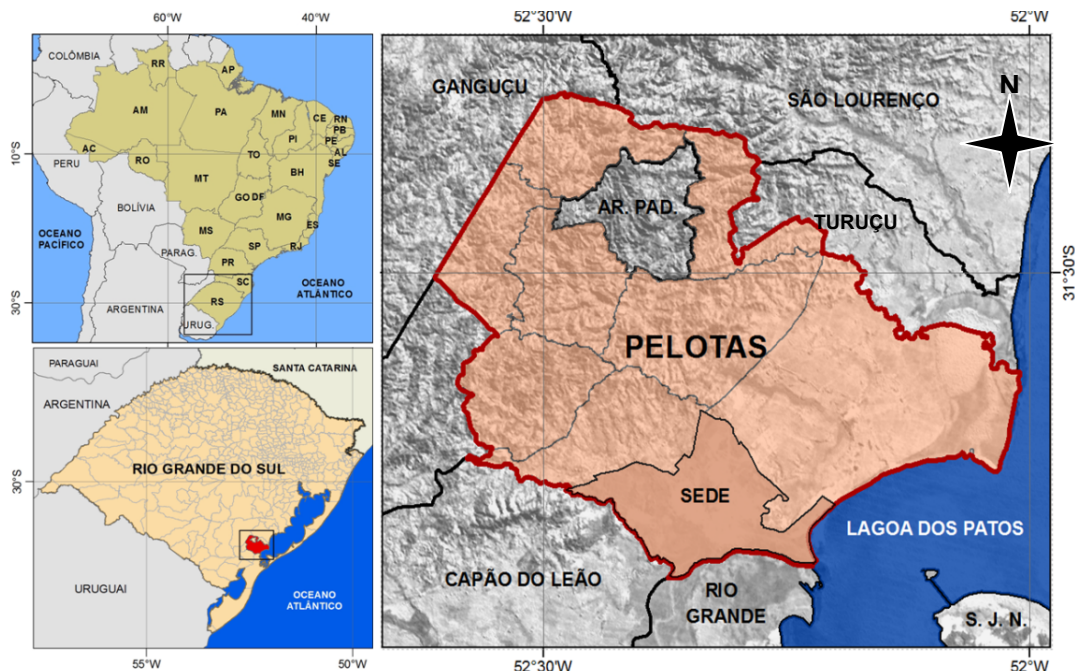


Figura 1.1: Localização geográfica do Município de Pelotas

## 1.8 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho caracteriza-se por unir duas grandes áreas do conhecimento: cartografia geotécnica e urbanismo (incluindo o planejamento urbano); e por se utilizar do geoprocessamento como sua principal ferramenta de trabalho. Desenvolvido junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, na área de Geotecnia, está organizado em dez capítulos, nos quais os conteúdos abordados foram distribuídos de forma a permitir uma compreensão sequencial dos procedimentos realizados e dos principais conceitos teóricos envolvidos.

A revisão da literatura está concentrada nos capítulos iniciais (2 e 3), mas também pode ser encontrada ao longo de todo o trabalho, como uma forma de referenciar teoricamente os assuntos abordados.

No Capítulo 1, introduzem-se algumas considerações gerais sobre os temas envolvidos, aponta as premissas básicas do trabalho, relaciona seus objetivos gerais e específicos e apresenta o município utilizado como estudo de caso.

No Capítulo 2, trata-se da urbanização, do crescimento urbano e do urbanismo, apresentando uma análise histórica e crítica das ações do urbanismo e do planejamento urbano nacional na resolução dos problemas urbanos decorrentes do crescimento populacional e espacial das cidades brasileiras, bem como breves conceitos associados ao estudo do crescimento das cidades.

No Capítulo 3, apresenta-se uma revisão teórica sobre a cartografia geotécnica e suas metodologias, em especial as desenvolvidas para as condições econômicas e tecnológicas nacionais, assim como para as características físicas e ambientais do território do país.

No Capítulo 4, é estruturada e apresentada a metodologia e os procedimentos a serem aplicados no mapeamento geotécnico voltado ao planejamento do uso e ocupação do solo do município de Pelotas.

No Capítulo 5, versa-se sobre a primeira etapa de aplicação da metodologia, etapa de inventário, através da caracterização inicial da área de estudo, inventário complementar dos dados disponíveis, identificação preliminar dos problemas, conflitos e impactos do meio físico, definição preliminar dos atributos relevantes e definição das escalas de trabalho.

No Capítulo 6, é desenvolvida a segunda etapa do método através da preparação inicial dos dados prospectados, visando o desenvolvimento das etapas seguintes de mapeamento.

No Capítulo 7, trata-se do desenvolvimento da etapa geral do método progressivo de mapeamento geotécnico, com a elaboração dos mapas de suscetibilidade do terrenos a processos geodinâmicos.

No Capítulo 8, é desenvolvida a etapa intermediária do método de mapeamento, onde são descritos os procedimentos que resultaram na elaboração da Carta de Aptidão à Urbanização.

No Capítulo 9, procede-se à análise dos resultados do mapeamento, os quais são contrapostos à legislação urbanística local vigente e pretérita.

No Capítulo 10, último título do trabalho, são apresentadas as conclusões.

## 1.9 RESULTADOS ESPERADOS

Os principais resultados que se pretende alcançar estão entre os objetivos anteriormente elencados, mas cabe destacar:

- a) Estruturação de uma metodologia referencial, apropriada à produção de mapas e cartas geotécnicas voltadas ao planejamento do crescimento sustentável da cidade, que incorpore, de forma inédita, a avaliação e simulação do crescimento urbano;
- b) Produção de mapas de suscetibilidade e carta de aptidão à urbanização capazes de dar suporte ao planejamento do uso e ocupação do solo;
- c) Análise crítica da legislação urbanística e ambiental da cidade de Pelotas, em face: das características do meio físico; da suscetibilidade à ocorrência de processos geodinâmicos; e da aptidão das áreas de expansão à urbanização.

## Capítulo 2 A URBANIZAÇÃO, O CRESCIMENTO URBANO E O URBANISMO

---

Neste capítulo, serão abordados temas da urbanização relacionados aos fenômenos do crescimento populacional e espacial das cidades nacionais pós revolução industrial e os problemas físicos ambientais deles decorrentes.

### 2.1 A URBANIZAÇÃO

Teórica e historicamente a urbanização, como processo de formação das cidades, remonta à origem das primeiras cidades (SPOSITO, 2000), mas a mesma, enquanto processo pelo qual a população das cidades cresce em proporção superior à população rural, é um fenômeno moderno, reflexo da industrialização e do desenvolvimento econômico (SILVA, J., 2000). Foi a partir da intensificação da produção industrial, tornada viável tanto graças ao capital acumulado como pelo desenvolvimento técnico-científico, a que se denomina Revolução Industrial, que a urbanização tomou ritmos acentuados (SPOSITO, 2000)

Nessa acepção, a Revolução Industrial gerou a urbanização, transformando as cidades em centros industriais e de negócios: polos de atração para uma mão-de-obra destinada a suprir a demanda do processo industrial. As cidades cresceram demográfica e territorialmente. Na Inglaterra, país que devido ao desenvolvimento pleno de seu capitalismo industrial é o melhor exemplo da urbanização pós Revolução Industrial, no início do século XIX, a proporção de pessoas que moravam nas cidades de mais de cem mil habitantes era da ordem de 10%; 40 anos depois esse índice aumentou para 20%, o que, comparado ao crescimento observado no século anterior para a Europa, foi um aumento considerável (SPOSITO, 2000). Segundo Bairoch & Goertz (1985), o percentual de pessoas que viviam em cidades de mais de cinco mil habitantes no Reino Unido em 1900, chegava a 67,4%, o que representa um aumento de 124,81% em relação ao ano de 1830. Ou seja, em apenas 70 anos, o índice de urbanização no Reino Unido mais do que dobrou.

No Brasil, a urbanização acelerada somente ocorreu a partir do século XX. A promoção de políticas desenvolvimentistas, a intensificação do processo industrial, a modernização técnica do trabalho rural e a estrutura fundiária concentradora, resultaram numa carência de

terras para a maioria dos trabalhadores rurais. Segundo Santos, Milton (1998), o índice de urbanização brasileiro pouco se alterou entre o fim do período colonial e o final do século XIX e cresceu menos que quatro pontos percentuais entre 1890 e 1920, passando de 6,8% para 10,7%. Em contrapartida, após 1920, foram necessários apenas 20 anos para que a taxa triplicasse, passando a 31,24%, em 1940, e mais 51 anos para que chegasse em 75%, em 1991 (ALFONSIN, 2001). De acordo com o Censo Demográfico de 2010, 84,35% da população brasileira vive em cidades (IBGE, 2010).

Neste processo, um contingente muito grande de pessoas oriundas do meio rural não encontraram cidades preparadas para recebê-las e atender suas necessidades básicas de moradia e serviço. Tal conjuntura acentuou muito um já evidente cenário de desigualdade econômica e social urbana, manifesto, entre outras formas, nos diferentes modos de produção e apropriação do espaço urbano pelos grupos sociais.

Por sua vez, a valoração dos terrenos em função de seus diferentes potenciais produtivos e de lucro e a necessidade do acesso à moradia conferem ao solo urbano um valor de mercadoria. Quanto mais dotado de equipamentos, infraestruturas e serviços públicos, quanto maior for seu grau de acessibilidade e centralidade<sup>1</sup>, mais caro ele será e, por consequência, cada vez mais restrito às classes sociais de maior poder aquisitivo. Desta forma, restam às camadas mais pobres da população as áreas de baixo custo, periféricas, com pouca ou nenhuma infraestrutura e, em suas parcelas mais desfavorecidas, áreas ambientalmente frágeis e/ou com elevado grau de insegurança que, por sua própria natureza, são impróprias ao uso urbano.

Um mercado imobiliário também se forma em tais áreas, mas uma parte desta população é tão pobre que acaba resolvendo seus problemas de moradia à revelia deste e do marco legal do direito, ocupando terrenos ociosos, geralmente públicos, mas, muitas vezes, privados, à espera de valorização (ALFONSIN, 2001). Forma-se, assim, a cidade informal cujo ritmo de crescimento, principalmente quando se trata de grandes cidades, é mais intenso que a média da urbanização do país. De outro lado, a apropriação do solo urbano com fins de lucro dá causa aos vazios urbanos, sejam eles em áreas já dotadas de

---

<sup>1</sup> **Acessibilidade** refere-se à possibilidade dos usuários do espaço urbano alcançarem determinados pontos ou locais dentro da malha urbana e **centralidade** à concentração, em uma ou mais localidades da cidade de equipamentos, atividades e serviços, que dão um maior dinamismo às relações econômicas e sociais.



infraestrutura, ou em outras que, por sua posição geográfica e características físicas, possuem potencial para a receberem. São áreas, em geral, propícias ao adensamento, mas que, por possuírem um alto custo de aquisição ou simplesmente por estarem indisponíveis e à espera de valorização, acabam por ser um dos fatores que determinam a crescente expansão das cidades.

## 2.2 O CRESCIMENTO URBANO

A urbanização brasileira deu causa a processos de crescimento interno e externo da cidade. Em um primeiro momento, a urbanização resultou no crescimento e densificação dos centros das cidades. Este crescimento interno, responsável pelo preenchimento de áreas vazias no interior da malha urbana, foi freado pela retenção do solo para fins de lucro e seguido por um duplo movimento de desdensificação-desconcentração, o qual resultou na extensão das periferias e no aumento espacial das cidades. (SILVA, F. *et al.* 2009).

Através de um crescimento rápido e desordenado<sup>2</sup>, as cidades expandiram seus territórios de forma espontânea e difusa, em um processo no qual, segundo Freira (2009), a racionalidade do planejamento foi substituída pela dinâmica do investimento privado e pela variabilidade do mercado. Neste processo, a cidade definida, morfologicamente, como uma entidade física, facilmente diferenciável do resto do território, aos poucos deixa de existir. No seu lugar surge uma cidade dispersa, fragmentada e policêntrica, cujos limites com os espaços suburbanos e rurais, são de difícil identificação.

O modelo de crescimento por extensão que, segundo Santos (2005), tem como causa geral a especulação imobiliária, mas também é motivado, muitas vezes, pela implantação pelo poder público de conjuntos habitacionais em áreas periféricas de baixo custo aquisitivo, foi caracterizado por Seabra (2000) como o processo pelo qual áreas rurais são sucessivamente incorporadas à textura urbana e acabam por conformar um enorme tecido urbano permanentemente em expansão e no qual se sucedem loteamentos/fábricas, ônibus/trens, bairros operários... e depois, COHABs, metrô.

---

<sup>2</sup> O termo “desordenado”, neste contexto, refere-se a um crescimento “não planejado”.

Embora o crescimento por extensão possa ocorrer de forma contínua, ou seja, através do prolongamento do tecido urbano existente que conforma uma entidade única, usualmente o mesmo ocorre de forma descontínua ou fragmentada, com áreas livres entremeadas às urbanas, em um processo fortemente condicionado pela ações especulativas imobiliárias (PAINEIRAI, *et al.*, 1983). Esta dinâmica de expansão, além de demandar um considerável consumo de solo, recurso finito e único em suas qualidades, como fator de produção (FREIRIA, 2009), tem forte impacto sobre o ambiente, dando causa ao desequilíbrio de seus sistemas.

O aumento das situações de risco e a imposição de um pesado ônus ao poder público, representam alguns dos problemas decorrentes do crescimento das cidades, materializados, entre outras formas, na ocupação de áreas de várzea, áreas sujeitas a inundações, áreas com elevadas declividades e áreas com alta suscetibilidade a processos erosivos (VALÉRIO FILHO *et al.*, 2004). Desta forma, uma parcela da população, em geral a menos favorecida, é submetida a situações de risco, em razão da possibilidade de ocorrência de processos geológicos ou correlatos, induzidos ou não (ZUQUETTE & NAKAZAWA, 1998), e, por sua vez e ação, submetem o ambiente à degradação.

### 2.2.2 Estudo do Crescimento Urbano

O estudo da dinâmica espacial urbana, de seus processos e padrões, tem sido um desafio para a ciência. Conforme Polidori (2004), no campo teórico da configuração urbana, importantes esforços têm sido empreendidos para melhorar a compreensão sobre os mecanismos de produção e reprodução das cidades, tais como as ideias vinculadas ao desenvolvimento desigual, à auto-organização e aos estudos sobre sistemas complexos. Na mesma direção, estudos de centralidade, como medida morfológica de diferenciação espacial, têm sido utilizados para representar a cidade através de seus espaços construídos.

Construir cenários de crescimento futuro de uma cidade implica desenvolver modelos complexos de simulação que incorporem os diferentes fatores e variáveis envolvidas na dinâmica urbana. Modelos simplificados de padrões de crescimento da cidade, em geral, por excesso de simplificação, não retratam de forma consistente evolução espacial urbana. Outros tipos de estudos, como a análise do crescimento com base no histórico de imagens e mapas, permitem a compreensão da dinâmica pretérita, mas são limitados no que se refere à predição da dinâmica futura. Para trabalhos nos quais a análise do crescimento urbano é acessória, um caminho que pode ser seguido é o uso de modelos de simulação já desenvolvidos, implementados e testados como, por exemplo, os de Almeida (2003) e

Polidori (2004), associados a análises sobre imagens áreas e de sensoriamento remoto, como a desenvolvida por Xavier (2010).

Os sistemas de informações geográficas tradicionais utilizam o mapa (representação estática) como a principal abstração da realidade e, por conseguinte, não são capazes de representar uma variedade de fenômenos espaciais inerentemente dinâmicos, tal como a mudança na morfologia do tecido urbano. Neste sentido, um dos grandes desafios da ciência da geoinformação têm sido o desenvolvimento de técnicas e abstrações capazes de representar adequadamente os fenômenos dinâmicos (CÂMARA *et al.*, 2002). Para tanto, as leis que os governam necessitam ser expressas através de equações interativas, as quais, incorporadas ao ambiente de SIG, permitam a simulação de fenômenos espaço-temporais (BURROUGH, 1998 *apud* CÂMARA *et al.*, 2002). Segundo Câmara *et al.* (2002), o desenvolvimento das técnicas de modelagem dinâmica tem se dado em duas principais direções:

- a) modelos e processos físicos associados a problemas hidrológicos ou ecológicos;
- b) modelos de sistemas socioeconômicos em microescala (baseados em autômatos celulares) e modelos muito-escalas, os quais incorporam efeitos de variáveis exógenas.

Como representação simplificada da realidade, cujo objetivo central é o de retratar um sistema ou uma entidade complexa de forma a melhorar sua compreensão (ALMEIDA, 2003; ECHENIQUE, 1975; LIU, 2009), a utilização de modelos para representar o espaço urbano, sua forma e sua dinâmica, não é nova: a conhecida teoria dos anéis concêntricos de Von Thünen, na qual o autor utiliza um modelo espacial baseado na teoria econômica, por exemplo, data de 1826. Contudo, os primeiros modelos eram essencialmente estáticos. Mesmo com o desenvolvimento computacional do fim da década de 1950 e com o aparecimento dos primeiros modelos digitais, esses continuavam, em geral, baseados em métodos estatísticos e ou sistema de equações lineares, que não incorporavam a dimensão temporal (SARAIVA, 2013). Avanços concretos na representação espacial de modelos urbanos somente ocorreram no final dos anos 1980, com a utilização generalizada de modelos de autômatos celulares (CA - *cellular automata*), nos quais a dimensão temporal é explícita e o modelo segue os conceitos da modelagem dinâmica (ALMEIDA, 2003).

Alicerçado na Geografia Quantitativa, no final da década de 70, o geógrafo e cartógrafo Waldo Tobler, que anteriormente havia proposto modelos de espaço celular para o

desenvolvimento da cidade de Detroit, começou efetivamente a explorar a aplicabilidade de modelos de CA em sistemas geográficos. Nos anos 80, Helen Conclsis, pesquisadora do Departamento de Geografia da Universidade de Santa Bárbara, baseada nos estudos de Tobler prosseguiu explorando as potencialidades dos CA até o final da década, quando as aplicações baseadas neste tipo de modelo começaram a se consolidar e serem providas de aprimoramentos conceituais, tais como as noções de fractais, entropia, criticalidade, entre outros (BATTY & XIE, 1977 *apud* LIU 2009; ALMEIDA *et al.*, 2003). Na década de 90, houve sucessivas melhoras nos modelos de CA, que passaram a incorporar as dimensões ambientais, socioeconômicas e políticas, articulando níveis analíticos de micro e macro escalas, chegando-se, no início da década seguinte, a pouco mais de vinte aplicações urbanas baseadas em autômatos celulares, dentro das quais está a de crescimento urbano de Clarke *et al.* (ALMEIDA *et al.*, 2003).

#### 2.2.2.1 Autômatos Celulares

Autômatos celulares podem ser definidos como representações matemáticas de sistemas físicos celulares, cujas características são especificadas pelos valores das células em cada estado, nos quais espaço, tempo e valores são discretos. Wolfman (1983 *apud* POLIDORI, 2004; ALMEIDA, 2003) define os Autômatos Celulares como estruturas matriciais de dados computacionais (grade regular uniforme), cujo estado é especificado pelos valores variáveis assumidos por cada uma de suas células, em um determinado passo de tempo, dentro de uma estrutura onde espaço e tempo são valores discretos. Obedecendo a regras locais de transição pré-definidas, os valores que cada célula (variáveis) assume são definidos pelos valores de sua vizinhança no passo de tempo anterior.

Os CAs podem, também, ser compreendidos através de seus cinco elementos básicos: o grid celular, o estado, a vizinhança, as regras de transição e o tempo. O **grid** corresponde ao conjunto de células que definem o espaço de existência do CA. São, tradicionalmente, n-dimensionais, contínuos e de formato variável. Os **estados** constituem os atributos (variáveis), que podem ser assumidos pelas células do **grid**, em um determinado tempo. Nos CAs básicos, as células assumem os valores zero e um, mas podem assumir n-valores finitos e discretos, como acontece geralmente nas aplicações ambientais e urbanas. A **vizinhança** é a região ao redor de uma célula que determina sua mudança de estado ao longo do tempo. As vizinhanças básicas são restritas a quatro (Von Neumann) ou oito células (Moore), mas que podem ser estendidas para representar melhor determinados processos. As **regras de transição** definem o estado que cada célula vai assumir, em cada passo de tempo, baseado no estado da própria célula e das suas vizinhas no tempo anterior. As regras correspondem às equações matemáticas dos modelos tradicionais e são

aplicadas a todas as células do *grid*, simultaneamente. Em geral, são representadas por enunciados simples que, ao se repetirem, geram resultados complexos. O **tempo** nos CAs é uma grandeza discreta, que consiste em passos interativos do sistema e não correspondem a uma medida de tempo real (TORRENS, 2000; LIU, 2009, POLIDORI, 2004, SARAIVA, 2013). A Figura 2.1, a seguir, representa dois estados de um celular básico, com os dois tipos clássicos de vizinhança e uma regra simples de transição.

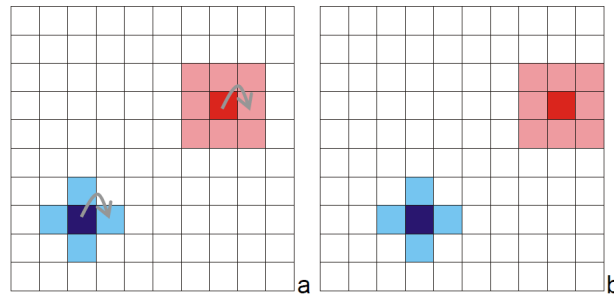


Figura 2.1: CA básico com dois tipos de vizinhança (Von Neumann = azul claro; Moore = vermelho claro), modificados pela regra 'mover ao vizinho à direita' a) no tempo  $t$ ; b) no tempo  $t+1$  (POLIDORI, 2004).

Conforme Polidori (2004), um CA representa, abstratamente, uma realidade em transformação, cujas regras de transição podem ser apreendidas e reaplicáveis através do modelo, de forma a permitir a observação sistemática e interativa da realidade (Figura 2.2). A replicação, em um ambiente celular autômato, das regras de transição, permite a formulação de modelos preditivos de alterações da realidade observada. Em um modelo CA, a dinâmica de transformação ou permanência dos diferentes estados definidos como possíveis de serem assumidos por uma célula é determinada em função do estado da própria célula e de suas vizinhas, no tempo anterior, e da regra de transição aplicada.

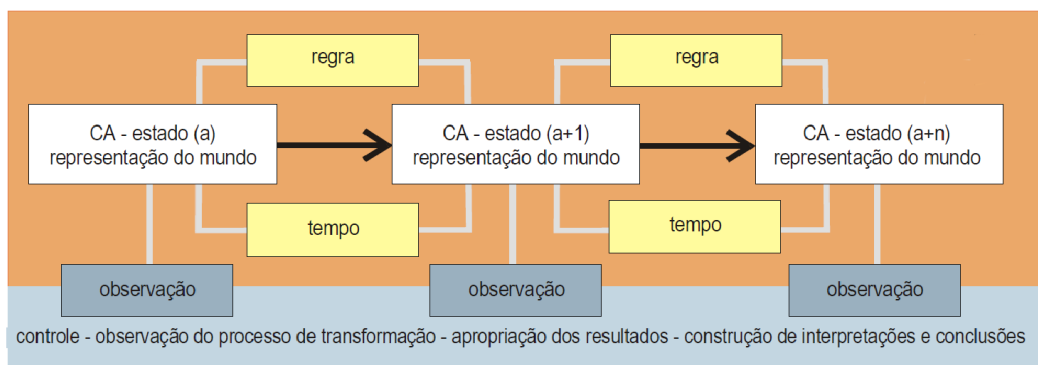


Figura 2.2: Esquema de evolução de um CA em função de aplicação de regras, tempo e observações de estados e processo (POLIDORI, 2004)

Se, por um lado, os CAs são capazes de representar estruturas espaciais através de relações locais de vizinhança, por outro, esses são deficientes para representar relações remotas e globais. Relações globais são melhores representadas através de medidas topológicas, obtidas a partir de estruturas vetoriais de dados, as quais se utilizam dos elementos básicos da geometria euclidiana (pontos, retas e planos). A conhecida teoria de grafos estuda a relação entre tais elementos, com base em suas conexões. Um grafo pode ser entendido como um conjunto finito de vértices conectados por arestas ou arcos, que permite a obtenção de diferentes medidas topológicas, tais como, conectividade, acessibilidade, sinuosidade ou centralidade (POLIDORI, 2004). A aplicação da teoria a ambientes urbanos considera a cidade como uma série de elementos (como, por exemplo, os espaços construídos e abertos) representados por pontos (vértices), conectados por arcos que, por sua vez, representam a relação entre eles, formando uma rede estruturada (Figura 2.3).

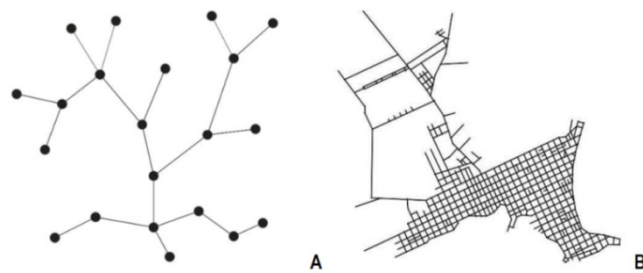


Figura 2.3: Representações através de grafos: A) um grafo qualquer; B) estrutura urbana da cidade de São Lourenço do Sul, RS, representada através das linhas axiais do sistema viário (TORALLES, 2013)

A teoria de grafos tem sido largamente utilizada para o estudo de fenômenos urbanos, que podem ser representados através de redes. A teoria da sintaxe espacial (HILLER & HANSON, 1984), que busca descrever a configuração do espaço urbano e as relações entre seus espaços através de medidas quantitativas, as quais possibilitam o entendimento de diversos aspectos importantes dos sistemas urbanos, tais como a acessibilidade e a distribuição de usos do solo (SABOYA, 2007), é um exemplo reconhecido da aplicação de grafos a sistemas urbanos. Além das medidas derivadas da sintaxe espacial, como a integração, outras medidas úteis à descrição e compreensão do espaço urbanos, tais como as medidas de acessibilidade (HAGGETT e CHORLEY, 1970 *apud* SARAIVA, 2013) e centralidade (FREEMAN, 1977 *apud* SARAIVA, 2013 e KRAFTA, 1994), podem ser obtidas por meio de um grafo.

Segundo Polidori (2004), a integração entre grafo e CA possibilita a superação de uma tradicional limitação associada aos mesmos, qual seja: trabalhar em múltiplas escalas.

Diante disso, através de grafo, é possível a apreensão da estrutura geral de um sistema (escala global), e de CAs, a compreensão das relações de vizinhança (escala local). A Figura 2.4 representa o esquema básico de integração entre grafos e CA.

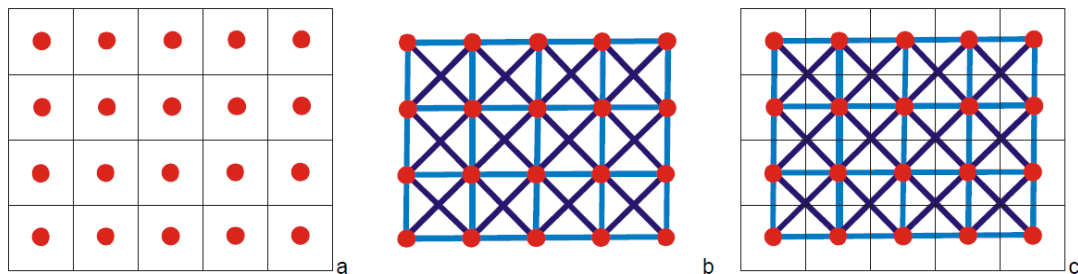


Figura 2.4: a) células e pontos superpostos espacialmente; b) grafo, representado por pontos e vetores; c) células, pontos e vetores, representando um sistema integrado de grafo com CA (TORALLES, 2013)

## 2.3 O URBANISMO

O urbanismo, como processo de ordenação da cidade, é anterior à Revolução Industrial. Muito antes disto, desde a Antiguidade Clássica, passando pela Idade Média até a Renascença e incluindo o Brasil Colonial, já existiam ordenações e, até mesmo, normas jurídicas urbanísticas, mas eram, nas palavras de Silva, J. (2000), “*um urbanismo primitivo e empírico*”. O urbanismo moderno, técnico e científico surge com o objetivo de corrigir os desequilíbrios urbanos decorrentes da industrialização e da explosão na demografia urbana. As primeiras intervenções com pretensões técnicas e científicas se deram nas grandes metrópoles europeias, no final do século XIX, com desdobramentos nas colônias e ex-colônias, no resto do mundo. O caso mais emblemático desse período é a famosa experiência do Barão Haussman, que desenvolveu e implantou o primeiro plano regulador para uma metrópole moderna, neste caso, Paris. Autoritário e com caráter higienista e embelezador das primeiras intervenções urbanas pós Revolução Industrial, o plano de Haussman foi expressão da forte ingerência do Estado sobre a área central de uma metrópole industrial (MONTE-MÓR, 2008).

Conforme Benévolo (1976), as primeiras tentativas de correção dos males da cidade industrial giravam em torno de duas posições antagônicas: uma extrema, representada pelos utopistas que se opunham veementemente às formas da cidade existente, propondo novos meios de convivência social em uma cidade idealizada e construída desde o seu começo; e outra ligada a especialistas e funcionários governamentais, que promoviam intervenções estéticas e introduziram regulamentos sanitários e serviços administrativos, mediante a utilização de instrumentos urbanísticos técnicos e jurídicos, visando à realização

de transformações no meio urbano. Essa visão originou a legislação urbanística moderna (SILVA, J., 2000). O urbanismo, que em seu conceito inicial era visto como a arte de embelezar as cidades (*embelir la ville*), evolui, tanto no sentido social, quanto no geográfico. A concepção moderna de urbanismo, formada nos Congressos Internacionais de Arquitetura Moderna (CIAM) e consolidada na conhecida Carta de Atenas<sup>3</sup>, reconhece que a cidade não é entidade autônoma, destacada e isolada no território. Desta forma, o urbanismo transcende aos limites da cidade, englobando um território inteiro que se influencia mutuamente, devendo, por isto, ser estudada de forma sistêmica e conjugada (GUIMARÃES, 2004). Toma, assim, o urbanismo o sentido de uma “ciência da organização do espaço, para além das restritas fronteiras da cidade” (LE CORBUSIER, 1973 *apud* SILVA, J., 2000).

Nas palavras de Meireles (2001), o urbanismo é ciência multidisciplinar<sup>4</sup> que, para alcançar seus objetivos, prescreve e impõe, entre outras, normas de desenvolvimento, de funcionalidade, de conforto, de estética, de preservação ambiental e patrimonial, planejando as cidades e suas adjacências, através da ordenação do uso e ocupação do solo, do traçado viário, do controle das edificações, entre outras atribuições. A definição de Meireles (2001), aproxima-se do conceito que diversos autores atribuem ao planejamento urbano, o que não surpreende, pois, conforme Ultamari (2009), ao longo da história urbanismo e planejamento urbano se confundem, e a correta conceituação dos termos somente seria possível se concebida a partir de uma definição do momento histórico. Para o autor, com a mudança de paradigmas, mudam-se também as formas com as quais o urbanismo trabalha, e este, ora se aproxima da intervenção ou modelagem real de um espaço físico, ora do projeto de cidade futura, explicitado por meio de um desenho ou de uma lei (ULTAMARI, 2009). Desta forma, em determinados momentos, o urbanismo parece resultar de uma ciência maior - o planejamento urbano e em outros os papéis se invertem, havendo, ainda, momentos em que os termos são usados indistintamente. Villaça (1999), esclarece que, no Brasil, a expressão planejamento urbano, tal se conhece hoje, somente começou a ser utilizada em meados do século XX e, por isto, não se aplica ao conjunto de intervenções urbanísticas anteriores.

---

<sup>3</sup> A Carta de Atenas é o documento que sintetiza os princípios do urbanismo moderno, elaborados no Congresso Internacional de Arquitetura Moderna realizado em 1933.

<sup>4</sup> Convergem para a compreensão do fenômeno urbano, diversas áreas do conhecimento, tais como a sociologia, geografia, estatística, engenharia sanitária, biologia, ecologia, economia, geologia, medicina, política, etc.



### 2.3.1 A Tradição Urbanística Brasileira

No Brasil, o urbanismo com pretensões técnicas e científicas ou planejamento urbano *latu sensu* (VILLAÇA, 1999) surge nos últimos vinte e cinco anos do século XIX. Preocupações com a saúde e a ascensão de uma nova classe dominante que busca um rompimento com o passado colonial, deram início a intervenções de caráter predominantemente estético e sanitarista nas cidades (BRASIL, 2001). Saboya (2008), correlacionando os trabalhos de Villaça (1999) e de Leme (1999) esboça uma divisão geral e aproximada das etapas históricas do urbanismo brasileiro, que são: de 1875 a 1930 – planos de melhoramento e embelezamento; de 1930 a 1965 – planos de conjunto; de 1965 a 1971 – planos de desenvolvimento integrado; de 1971 a 1992 – planos sem mapas. O início do primeiro período (1875 a 1930) marca, conforme assevera Villaça (1999), o surgimento do planejamento urbano no Brasil, com a apresentação do primeiro relatório da Comissão de Melhoramentos da Cidade do Rio de Janeiro, em que são utilizados, pela primeira vez dois conceitos-chave associados ao espaço urbano: o de *plano* e o de *conjunto* (BRASIL, 2001).

Os **planos de melhoramento e embelezamento** (1875 a 1930), provenientes da tradição européia, consistiam, basicamente, no alargamento de vias, erradicação de ocupação de pessoas de baixa renda das áreas centrais, dotação de infraestrutura, em especial de saneamento, e ajardinamento de praças e parques (VILLAÇA, 1999; LEME, 1999). O principal expoente desse período foi o Engenheiro Saturnino de Brito, o qual realizou planos de saneamento para diversas cidades brasileiras. Em Porto Alegre, esta fase é representada pelo Plano Geral de Melhoramentos, de autoria do arquiteto João Moreira Maciel, do ano de 1914. Segundo Villaça (1999), devido ao caráter hegemônico e impositivo das classes dominantes dessa época, e ao contrário do que viria acontecer em fases subsequentes, os planos desse período eram efetivamente implementados.

Na fase dos **planos de conjunto** (1930 a 1965), a cidade passou a ser tratada de forma abrangente. Os planos passaram a buscar a integração entre o centro e os bairros, e esses entre si, através da implantação de vias de circulação e sistemas de transporte e não mais a tratar apenas de algumas áreas específicas da cidade (LEME, 1999).

Apesar de já existirem, desde 1886, dispositivos rudimentares de zoneamento (VILLAÇA, 1999), foi a partir período dos planos de conjunto que começaram a ser elaborados os zoneamentos e a legislação de controle de uso e ocupação do solo (LEME, 1999). Dois referenciais desse período foram o Plano de Avenidas, elaborado em 1930 por Prestes Maia, para São Paulo, e o Plano de Alfred Agache, para o Rio de Janeiro, também de 1930. O plano do Rio de Janeiro, além de marcar uma transição dos projetos de embelezamento

para os superplanos que viriam a ser desenvolvidos nas décadas de 60 e 70, traz a ideia de cientificismo na elaboração de estratégias urbanas baseadas em extensos diagnósticos (VILLAÇA, 1999).

A influência do Plano Agache pode ser sentida em Porto Alegre no trabalho denominado As Linhas Gerais do Plano Diretor, em que Edvaldo Pereira Paiva e Luiz Arthur Ubatuba, integrantes do quadro técnico da Prefeitura, entre 1935 e 1937, partindo do plano de Maciel de 1914, propunham soluções viárias para capital do Estado. Posteriormente, em 1938, o urbanista Arnaldo Gladosch, membro do escritório Agache do Rio de Janeiro, foi contratado para elaborar um Plano Diretor para Porto Alegre. O Plano Gladosch, embora já destacasse a necessidade do zoneamento, resultou em uma proposta essencialmente viária (ESTIVALET, 2006). O período dos planos de conjunto marca a passagem dos planos exequíveis e executados, para os planos-discursos, intelectuais (VILLAÇA, 1999), com base científica e tecnicamente corretos, que não se preocupam com sua operacionalidade, pois sua “verdade” bastaria (DEAK & SCHIFFER, 1999).

Os **planos de desenvolvimento integrado** (1965 a 1971) são marcados pela extrapolação da dimensão físico-territorial da cidade, incorporando outros aspectos, tais como os econômicos e sociais. Para Villaça (1999), os planos desse período se caracterizam pelo distanciamento entre as propostas e as suas implementações, pelo conflito entre propostas abrangentes e estruturas administrativas setorizadas e especializadas e pela sua dificuldade em aprovação, uma vez que, incorporando a dimensão legal, passam a ser também de alçada do Legislativo. O período de 1965 a 1971 ratifica o que já ficava evidenciado no Plano Agache, o que seja: o distanciamento entre os planos e a realidade das cidades (BRASIL, 2001), distanciamento que chegará no seu ápice com os superplanos, caracterizados pela ideia de globalidade, sofisticado tecnicismo e interdisciplinaridade no planejamento (VILLAÇA, 1999).

Os **planos sem mapas** (1971 a 1992), provável resposta à inaplicabilidade dos superplanos, abriam mão dos extensos diagnósticos, passando da complexidade técnica e intelectual, para a simplicidade de planos feitos pelos próprios técnicos municipais, com poucos mapas, sem ou com reduzido diagnóstico técnico (VILLAÇA, 1999). Nas palavras de Villaça (1999) “o Plano sem Mapa, em geral, enumera objetivos, políticas e diretrizes os mais louváveis e bem-intencionados possíveis. Com isso elimina as discórdias e oculta os conflitos.”

### 2.3.2 O Fracasso do Urbanismo Tradicional

Na tradição urbanística brasileira, o planejamento urbano, instrumentalizado principalmente através dos planos diretores e de zoneamento<sup>5</sup>, tem sido concebido como a idealização de um projeto de cidade do futuro, de uma cidade desejada. De uma forma geral, os planos apostavam na condução, por parte do Poder Público municipal, do processo de crescimento e desenvolvimento urbano, mediante investimentos em transporte, sistemas viários, infraestrutura e equipamentos públicos e controle sobre a ação dos agentes privados, através da disciplina do uso do solo, sobretudo via zoneamento (BRASIL, 2002). Os planos estabeleceram uma cidade ilusória, que não se relacionava com as condições reais de sua produção e que não levava em consideração dimensões que reconhecessem conflitos, como a desigualdade social e de renda e sua influência sobre o funcionamento dos mercados urbanos (ROLNIK & CYBALISTA, 2000). Tratava-se as cidades como objeto essencialmente técnico, no qual a função do urbanismo era de estabelecer padrões satisfatórios traduzidos em índices, como taxas de ocupações, coeficientes de aproveitamentos, tamanhos mínimos dos lotes, recuos, entre outros índices, e zonas diferenciadas para suas aplicações (ROLNIK & CYBALISTA, 2000; BRASIL, 2002).

Na prática, muito pouco das obras e melhoramentos previstos nos planos foram executados e as cidades, em sua maior parte, pouco se relacionavam com as normas e padrões preditos na legislação de uso e ocupação do solo. Maricato (2002), afirma que a base do planejamento urbano, no Brasil, está assentada sobre a matriz modernista/funcionalista que favoreceu a ocultação da cidade real e a formação de um mercado imobiliário restrito e especulativo. Assim, mesmo o país dispendo de um amplo aparato urbanístico normativo, aceitava com flexibilidade a cidade ilegal. Por outro lado, segundo a mesma autora, não é apenas por falta de planos urbanísticos ou dos modelos de planejamento empregados que as cidades brasileiras apresentam graves problemas, mas sim porque seu crescimento se faz à margem desse planos, seguindo o interesse da política local e de grupos específicos, em uma gestão urbana desconectada do planejamento e do plano diretor (MARICATO, 2002). Para Villaça (1999), por um longo período, através de um discurso que ainda perdura

---

<sup>5</sup> Planos desenvolvidos principalmente nas décadas de 70 e 80 sob os paradigmas e preceitos dos Congressos de Arquitetura Moderna e da Carta de Atenas.

no Brasil, é atribuído, ao planejamento urbano a função de solucionar, através de técnicas e métodos bem definidos, os problemas advindos de um propagado "crescimento caótico". O discurso, de caráter ideológico, tenta esconder as verdadeiras origens dos problemas, o fracasso do Estado e das classes dominantes em resolvê-los, bem como a separação histórica entre planejamento, políticas públicas e gestão urbana (VILLAÇA, 1999).

### 2.3.3 O Estatuto da Cidade

Após 1992, o urbanismo e o planejamento urbano, no Brasil, se dão sobre a égide da Constituição de 1988. Por meio de uma Emenda Popular, é incluído, na Constituição, um capítulo específico para a política urbana: o capítulo II - "Da Política Urbana" do Título VII – Da Ordem Econômica e Financeira. O artigo 182 do referido capítulo define o Município como o espaço político institucional para realização das normas dirigentes da política urbana que, em especial para municípios com mais de 20 mil habitantes, são instrumentadas através do plano diretor. O mesmo artigo prescreve que a "política de desenvolvimento urbano, executada pelo Poder Público Municipal, conforme diretrizes gerais fixadas em lei, tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes".

Mesmo antes da regulamentação do artigo 182 e 183, que viria a ocorrer em 2001, por meio da lei 10.257/2001 – Estatuto da Cidade, diversas cidades brasileiras tentaram aplicar instrumentos urbanísticos e tributários, visando promover os princípios constitucionais da função social da propriedade e da cidade. Entretanto, as inseguranças jurídicas, somadas ao conservadorismo de boa parte dos operadores do direito, ainda presos ao direito absoluto da propriedade contido no Código Civil de 1916, resultaram em poucos casos práticos de sucesso (BRASIL, 2001).

O Estatuto da Cidade, por sua vez, ratificou a função social da propriedade e da cidade, institucionalizou a participação social no processo de planejamento e estabeleceu instrumentos jurídicos que objetivavam a promoção e garantia do direito à cidade (BRASIL, 2001). Suas dimensões estruturantes são: (i) a função social da propriedade e da cidade; (ii) a regulamentação e criação de instrumentos urbanísticos para construção de uma ordem urbana socialmente justa e inclusiva; (iii) a indicação de processos político-jurídicos para a gestão democrática da cidade; (iv) a proposição de instrumentos jurídicos para a regularização fundiária das ocupações informais em áreas urbanas.

Segundo Fernandes (2013), antes da entrada em vigor do Estatuto da Cidade, a maioria dos municípios brasileiros, em especial os pequenos e médios, não possuíam um instrumento

jurídico minimamente adequado ao planejamento e controle do uso do solo, não dispondo, sequer, de dados e informações espaciais básicas sobre o seu território. Com a obrigação constitucional dos municípios de mais de 20.000 habitantes possuírem plano diretor regulamentada pelo estatuto, que a estendeu a outros casos, como, por exemplo, os municípios integrantes de regiões metropolitanas e aglomerações urbanas, cerca de 1.700 municípios passaram a ter a obrigação legal de aprovar seus planos diretores. Desses, até 2013, 1.450 municípios, de alguma forma, já promulgaram seus planos (FERNANDES, 2013).

O Estatuto, em seu texto e ideário, buscou: (i) ampliar a abrangência do plano diretor, vinculando o planejamento urbano à definição da função social da propriedade e da cidade; (ii) indicar a implantação pelos municípios de um sistema de administração descentralizado e democratizado e, por fim; (iii) colocar à disposição destes, instrumentos que, "em tese", possibilitariam a consecução de seus preceitos.

#### 2.3.4 O Urbanismo Pós-Estatuto da Cidade

Da aprovação do Estatuto da Cidade ao fim da primeira década deste século, as cidades brasileiras passaram por mudanças profundas. O processo de urbanização, apesar de uma pequena queda em relação às décadas anteriores, continuou elevado e com direcionamento deslocado das grandes metrópoles para as médias e pequenas cidades. O crescimento da economia nacional e a conseqüente formação de uma "nova classe média" vêm agravando os antigos problemas urbanos de mobilidade, impacto ambiental, violência e infraestrutura (FERNANDES, 2013).

Segundo a Pesquisa de Informações Básicas Municipais do IBGE, em 2009, dos 1644 municípios brasileiros com mais de 20 mil habitantes, 1433 declararam ter plano diretor, ou seja, 87,17%. Somando-se esses aos demais municípios que, apesar de não estarem obrigados, possuíam plano diretor, chega-se a um total de 2318 municípios, o que representa 41,65% do total dos 5565 municípios brasileiros (IBGE, 2010). Diante disso, a diversidade de problemas urbano-ambientais que persistiram, ou até mesmo se agravaram, pós estatuto, não podem mais serem atribuídos à falta de planejamento.

Em 2011, a Rede de Avaliação e Capacitação para a Implementação dos Planos Diretores Participativos, em parceria com a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), através do Instituto de Pesquisas e Planejamento Urbano e Regional (IPPUR), publicou o resultado da avaliação qualitativa dos planos diretores em todo o País. Segundo Santos Junior e Montandon (2011), a pesquisa tornou evidente a generalizada inadequação da

regulamentação dos instrumentos jurídico-urbanísticos no que se refere a suas auto aplicabilidades e efetividades, em especial dos instrumentos destinados à indução do desenvolvimento da cidade. Entre os diversos problemas apontados pelo documento, cabe, no contexto do presente trabalho, destacar: (i) inadequada e insuficiente demarcação territorial de diretrizes e instrumentos do PD, devidos, p.ex., a uma leitura técnica e comunitária mal elaborada, a baixa capacidade institucional e técnica dos municípios, a inexistência ou precariedade de cadastros e informações básicas acerca do território; (ii) reduzida incorporação de mecanismos e instrumentos capazes de dar efetividade às políticas ambientais, as quais não são tratadas de maneira integrada às demais políticas setoriais urbanas, sendo, muitas vezes, até mesmo conflitantes; (iii) baixa incorporação do licenciamento ambiental como instrumento prévio para aprovação de empreendimentos urbanos potencialmente causadores de impacto ao meio ambiente e a infraestrutura urbana local; (iv) incapacidade dos PD de dialogar com a cidade real, seus problemas e com a efetiva capacidade de gestão do município.

Os planos diretores elaborados após a entrada em vigor do Estatuto da Cidade, com base neste instrumento, não foram capazes de reverter ou pelo menos conter os problemas urbanos decorrentes do crescimento das cidades e das relações e conflitos socioeconômicos entre os diferentes usuários do espaço urbano, gerando uma certa descrença da referida lei. A avaliação qualitativa dos PDs tenta demonstrar que o problema se deve muito mais à aplicação da lei do que, propriamente, à ineficácia de seus dispositivos que são, segundo Santos Junior e Montandon (2011), em geral, inadequadamente utilizados.

É fato que o Estatuto institucionalizou e jurisdicionou importantes instrumentos urbanísticos que visam a oferecer ao Estado ferramentas que lhe permita exercer um melhor controle sobre as dinâmicas de produção e apropriação do espaço urbano e, com isso, perseguir a promoção do interesse público acima do privado (WHITAKER, 2003). Mas, diferentemente da situação da Europa do pós-guerra, onde esses instrumentos se originaram, no Brasil, estes foram postos em face a um modelo de sociedade e de cidade estruturalmente organizadas de forma desigual. Sendo assim, não há de se esperar que tenham o mesmo potencial e alcance. No caso brasileiro, trata-se de reverter, a posteriori, um processo histórico-estrutural de segregação espacial. Isto significa, em essência, dar ao Estado a capacidade de enfrentar privilégios urbanos adquiridos por determinadas classes ao longo da história (WHITAKER, 2003). Isso somente ocorrerá com a implementação de políticas e ações que confirmem efetividade aos instrumentos do Estatuto, sem o que tais mecanismos mostram-se incapazes de promover mudanças efetivas no quadro urbano nacional.

De outro lado, os planos diretores pós estatuto das cidades, a despeito de incorporarem ou não, de forma efetiva e autoaplicável, os instrumentos urbanísticos do Estatuto da Cidade, continuam utilizando o mesmo instrumental urbanístico dos planos ditos "tradicionais". A aplicação do zoneamento de usos, ou variantes do mesmo, e dos índices, taxas, recuos e limites construtivos repete, em muitos aspectos, a matriz modernista/funcionalista, que parece indicar um não rompimento com o criticado modelo tecnocrático de planejamento.

No entanto, a incapacidade política, institucional e técnica dos entes governamentais, em especial os municípios, seus órgãos e equipes de planejamento que, mesmo dispondo de um amplo leque de instrumentos urbanísticos legais, não conseguem frear o crescente processo de mercantilização das cidades brasileiras, promover a inclusão socio-espacial e reverter os problemas socio-ambientais, não pode diminuir a importância do planejamento urbano. A redução dos problemas sociais e ambientais decorrentes do crescimento das cidades passa pela intervenção estatal e manifesta a importância do urbanismo, enquanto técnica e ciência multidisciplinar, no processo de ordenação dos espaços urbanos.

## 2.4 PLANEJAMENTO URBANO E CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA

Ferreira dos Santos (2004) sintetiza os diversos conceitos de planejamento, afirmando que "[...] o planejamento é um processo contínuo que envolve a coleta, organização e análise sistematizada das informações, por meio de procedimentos e métodos, para chegar a decisões ou a escolhas acerca das melhores alternativas para o aproveitamento dos recursos disponíveis". Segundo o autor, "[...] a ênfase do planejamento está na tomada de decisões, **subsidiadas num diagnóstico que, ao menos, identifique e defina o melhor uso possível dos recursos do meio planejado**" (grifo nosso) (FERREIRA DOS SANTOS, 2004). Neste sentido, a identificação das potencialidades, vocações e fragilidades do meio físico, bem como a previsão dos impactos causados pela ação antrópica, são fundamentais para que as decisões tomadas no processo de planejamento possibilitem uma destinação adequada ao solo urbano, em conformidade com suas características físicas e ambientais.

O Guia para Implementação do Estatuto da Cidade pelos Municípios e Cidadãos (BRASIL, 2002) define que a elaboração do plano diretor deve partir de um amplo processo de leitura da cidade, a partir do qual deverá ser estabelecido o destino específico que se quer dar às diferentes regiões do município, embasando os objetivos e as estratégias do planejamento urbano. A cartografia dessas diretrizes, segundo o documento, corresponde a um macrozoneamento, o qual dividirá do território em unidades territoriais, que expressem o destino que o município pretende dar às diferentes áreas da cidade. O macrozoneamento, o

qual se constitui na base para definição do uso e ocupação do solo urbano, deve ser feito, segundo o guia, partindo do princípio da compatibilidade entre a capacidade da infraestrutura existente, as **condições do meio físico**, as necessidades de preservação ambiental e as características de uso e ocupação existentes.

Conforme o guia, para elaboração do macrozoneamento revela-se fundamental o conhecimento da realidade local. Os órgãos municipais de planejamento devem dispor de "um sistema de informações espacializadas" que possibilitem, entre outros, a obtenção de dados que deem suporte lógico à definição dos diferentes tipos de ocupação (ou não ocupação) de cada área. Entre as informações fundamentais o guia estabelece os "dados de geomorfologia, que indicarão as áreas mais adequadas à ocupação, baseadas na qualidade do solo, nos índices de declividade, na altura do lençol freático" (BRASIL, 2002). Sendo assim, ressaltando-se a imprecisão terminológica e a incompletude do elenco de informações, o guia assevera o que há muito já está consagrado no meio técnico científico, ou seja: **as informações acerca do meio físico são fundamentais nas atividades de planejamento do uso e ocupação do solo.**

Neste contexto, a cartografia geotécnica, definida por Bastos, C. *et al.* (1998) como "os procedimentos para obtenção e representação gráfica de aspectos do meio físico, baseados em estudos geológicos, pedológicos, geomorfológicos, geotécnicos, etc. [...]", é uma expressiva fonte de informações sobre o território urbano e, por conseguinte, importante ferramenta de subsídio aos processos de planejamento. Segundo Peloggia (1997), a aplicação, por excelência, da cartografia geotécnica, refere-se ao planejamento territorial, em especial, o urbano, sendo essa a posição dominante no meio técnico-científico. As informações presentes nas cartas geotécnicas, quando conjugadas com as diferentes formas de ocupação, possibilitam a interpretação do meio físico e a avaliação de suas potencialidades e limitações. Sendo assim, é fundamental que as equipes de planejamento se apropriem desse documento e que o mesmo componha as bases de conhecimento sobre as quais são tomadas as decisões sobre o uso e ocupação do território da cidade.

Embora seja axiomática a importância das informações e indicações contidas nas cartas de aptidão à urbanização, susceptibilidade, riscos geológicos, entre outros documentos da cartografia geotécnica, mostra-se imprescindível a compreensão de que o planejamento urbano envolve uma série de outros componentes e fatores, tais como os políticos, econômicos, sociais, históricos, entre outros que, conjugados com as características do meio físico, irão compor os fundamentos para a definição das formas mais adequadas de uso do solo, para cada contexto específico. Sendo assim, as cartas geotécnicas devem representar, sob o ponto de vista geológico-geotécnico, as potencialidades e limitações do



meio físico urbano, bem como os problemas presentes e futuros associados às diferentes formas de ocupação do território. Entretanto, seu caráter deve ser essencialmente orientador, pois as definições sobre as formas adequadas de ocupação e uso do espaço urbano devem ser o resultado de um amplo processo de análise, discussão, confronto de ideias, ideologias e forças dos diferentes atores envolvidos na produção e no planejamento da cidade.

Neste sentido, não só os técnicos ligados ao planejamento urbano devem ser os destinatários da informação geológico-geotécnica; é primordial que os demais atores urbanos, em especial a população, tenham o conhecimento das propriedades básicas e dos problemas associados às diferentes áreas do território da cidade. A apreensão das informações acerca do meio físico capacita, tanto a demanda por solução para problemas existentes, quanto por ações preventivas a problemas futuros em áreas já ocupadas. A informação geológico-geotécnica também é capaz de proporcionar a compreensão sobre quais áreas livres da cidade são mais adequadas aos diferentes usos do solo e, com isso, agregar um componente lógico na oferta e na procura pela terra.

Mas apesar da destacada importância da cartografia geotécnica, como fonte de informações sobre o meio planejado, são muitas as cidades brasileiras, em especial as de pequeno e médio porte, que elaboraram seus planos diretores, pré ou pós Estatuto da Cidade, sem disporem de qualquer tipo de informação geotécnica e/ou geoambiental. Independente dos motivos, os quais podem ser de ordem variada, como, por exemplo, a inexistência de equipe técnica multidisciplinar, ou a inexistência de dados básicos, bem como a falta de recursos para sua obtenção. Soma-se a isso a desinformação e desqualificação das equipes existentes, o descaso político-administrativo, entre outros. O fato, por si só, demonstra a relevância de investimentos nas áreas da pesquisa, obtenção de dados básicos, elaboração de mapas e cartas, qualificação de equipes técnicas, entre outros mecanismos.

A relevância de investimentos no desenvolvimento e uso da cartografia geotécnica ganhou maior destaque com a entrada em vigor das leis 12.340/2010 e 12.608/2012 que, entre suas disposições, instituem a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC. A referida legislação determina a criação, pelo Governo Federal, do cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos. Estabelecendo, ainda, a obrigação de os municípios cadastrados elaborarem o mapeamento das áreas suscetíveis à ocorrência desses processos geodinâmicos, bem como a elaboração da carta geotécnica de aptidão à urbanização.

## Capítulo 3 A CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA

---

O presente título contempla uma revisão teórica da cartografia geotécnica e dos principais conceitos associados à mesma. Após algumas definições iniciais referentes à acepção do termo, é esboçado um histórico do desenvolvimento da cartografia geotécnica no Brasil e no mundo. Em seguida, é feita uma separação conceitual entre os termos cartografia, mapeamento, cartas e mapas, e arrolados os principais objetivos e aplicações dos mapas e cartas geotécnicas. Por fim, após uma categorização dos diferentes tipos de cartas e mapas, segundo renomados pesquisadores nacionais da área, são retratadas algumas das principais metodologias internacionais e nacionais de mapeamento geotécnico.

### 3.1 ALGUMAS DEFINIÇÕES

O conceito de cartografia, hoje aceito, foi estabelecido em 1966 pela Associação Cartográfica Internacional - ACI, e posteriormente ratificado pela UNESCO, como "o conjunto de estudos e operações científicas, técnicas e artísticas que, tendo por base os resultados de observações diretas ou da análise de documentação, voltam-se para a elaboração de mapas, cartas e outras formas de expressão ou representação de objetos, elementos, fenômenos e ambientes físicos e socioeconômicos, bem como a sua utilização" (IBGE, 2014). A cartografia geotécnica, por sua vez, conforme o objetivo e alcance do seu conteúdo e as características do meio físico estudado, pode apresentar-se sob diferentes denominações. Mas, em geral, o termo "cartografia geotécnica" é empregado para os produtos cartográficos que expressam a prática do conhecimento geológico aplicado no enfrentamento dos problemas gerados pelo uso e ocupação do solo, ou seja, os problemas inerentes à ação do homem sobre o ambiente (PRANDINI *et al.*, 1995; SOBREIRA & SOUZA, 2012), ou que visem avaliar e retratar as características do meio físico frente as diferentes solicitações impostas pela sua ocupação, estimando suas limitações e potencialidades (ZUQUETTE, 1993; SOBREIRA & SOUZA, 2012).

Segundo Peloggia (1997), sob a denominação de "cartografia geotécnica" são encontrados os resultados de trabalhos de concepções, enfoques, técnicas, procedimentos, objetivos e produtos diferenciados. Desta forma, a cartografia geotécnica se constitui em um aspecto amplo da geologia ou, mais especificamente, da geologia aplicada à engenharia. Para Cerri

(1990), a cartografia geotécnica trata da representação das características do meio físico, englobando a distribuição dos diferentes tipos de solos e rochas, formas de relevo, a dinâmica dos principais processos atuantes e seus reflexos nas diferentes formas de uso e ocupação do solo, bem como os reflexos dessas naqueles. Freitas (2000, *apud* SOBREIRA & SOUZA, 2012), por sua vez, sustenta que a cartografia geotécnica atende à necessidade de caracterização dos terrenos, advinda do uso e ocupação do solo e leva em conta atributos ou parâmetros de seus componentes físicos, que induzem ou condicionam o desenvolvimento de processos e fenômenos geodinâmicos. Diniz (2012), considera a cartografia geotécnica, de forma geral, como "a técnica de integração, síntese e representação de informações temáticas da área de geologia de engenharia voltada para o planejamento e gestão ambiental urbana e territorial". Segundo a autora, a cartografia geotécnica permite a formulação de modelos de previsibilidade do comportamento dos terrenos e, também, o estudo de soluções para problemas decorrentes da intervenção do homem sobre o meio físico. Por sua vez, Sobreira & Souza (2012) concluem que os produtos da cartografia geotécnicas representam a distribuição espacial dos diferentes tipos de rochas e solos, com o objetivo de estabelecer as limitações, potencialidades e necessidades de intervenções para consolidação do uso urbano e rural.

Segundo o IAEG (1976), o "mapa geotécnico é um tipo de mapa geológico que classifica e representa os componentes do ambiente geológico, os quais são de grande significado para todas as atividades de engenharia, planejamento, construção, exploração e preservação do ambiente". Para Matula (1976), o mapa geotécnico constitui-se no modelo que melhor representa o ambiente geológico para fins de engenharia e, segundo Nakazawa *et al.* (1991, *apud* ZAINÉ, 2000), as cartas e/ou mapas geotécnicos representam, tanto a dinâmica dos processos geológicos, como as características do meio físico. Para Santos, M. C. (1990), o mapa geotécnico é um documento complexo, que integra um determinado conjunto de dados do solo e subsolo, sintetizando-os, interpretando-os e prevendo as possíveis respostas à ação humana, pois o meio físico, além de suas potencialidades, também tem suas limitações. Por fim, segundo De Mio e Gandolfi (1995), "o mapeamento geotécnico pode ser definido como uma ferramenta ou processo que procura caracterizar as propriedades do terreno de interesse para engenharia e para o planejamento (...)".

### 3.2 BREVE HISTÓRICO

O marco de origem da cartografia geotécnica no mundo foi a Exposição Técnica da Construção, de 1913, em Leipzig na Alemanha, onde foram apresentados, por Langen, os

primeiros documentos gráficos de que se tem notícia, os quais orientaram as construções nas cidades de Erfurt, Danzig e outras (CABALLERO, 1973; ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004). Após essa data, novos trabalhos, reunindo diferentes tipos de atributos, escalas, análises e finalidades, foram gradativamente surgindo. Caballero (1973) cita datas, períodos e trabalhos, os quais foram aqui complementados com informações fornecidas em Zuquette & Gandolfi (2004), conforme apresentado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Evolução da cartografia geotécnica, antes da 2ª Guerra Mundial

PERIODO	TRABALHO
1919	Moldenhawer converte a carta geológica da Vila de Dantzing em uma carta geotécnica, dividindo o terreno em função da profundidade e apresentando os resultados em um mapa de localização das sondagens e um mapa geotécnico propriamente dito. O método de Moldenhawer serviu de base para técnicas modernas de mapeamento geotécnico (ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004)
1920 a 1930	Início das investigações geotécnicas de caráter regional na Rússia, objetivando o estudo das condições de irrigação do rio Volga, o aproveitamento dos vales de Kuban e Terk e construção do canal entre os mares Báltico e Branco
1920	Realização por Kodyn e Matevka dos primeiros estudos geotécnicos na Tchecoslováquia, com a elaboração de um mapa geológico, na escala 1:20.000, destinado ao desenvolvimento de Praga
1932	Stremme publica e Ostendorf estuda uma série de mapas que tratam da geologia e da geotecnia de determinadas áreas da Alemanha (BASTOS, G., 2005). Obedecendo o esquema de Moldenhawer, o método de Stremme/Ostendorff produziu cartas geotécnicas que estabeleciam, de forma sintética, capacidades de cargas admissíveis para fundação e as possibilidades de ocorrência de deslizamentos
1934 a 1938	A comissão Geotécnica Suíça publica, na escala 1:200.000, um mapa geotécnico do país (Niggli, Gschwind, Winteralter e Quervain), onde estavam indicados os tipos litológicos que constituem o subsolo do país e os lugares para extração de rochas
1938	Muller publica um estudo cartográfico da comunidade de Marke, no qual apareciam um mapa de solo, terrenos para construção, hidrológico, tratamento de terrenos e um mapa para planejamento nos quais os diferentes tipos de solos e as distintas aptidões para obras civis estão representadas mediante a utilização de cores

(Fonte: Caballero, 1973; Zuquette & Gandolfi, 2004)

Após a Segunda Guerra Mundial, com a necessidade de reconstrução das cidades, a cartografia geotécnica tomou impulso, surgindo uma série de mapeamentos e estudos geotécnicos. Na antiga União Soviética, seguindo as bases teóricas propostas por Popov, Belvi, Sergeev, Golodkocskaya e outros, foi dada continuação aos estudos geotécnicos regionais, que, além de resultarem na caracterização geotécnica de diversas áreas, permitiram estabelecer as bases da geotecnia regional e os métodos para realização de mapeamento em diferentes escalas. Merecem também destaque os trabalhos arrolados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Evolução histórica da cartografia geotécnica do fim da Segunda Guerra Mundial até 1965

PERÍODO	TRABALHO
1947	Zebera apresenta na Tchecoslováquia seu método de representação, de fundamental importância para o desenvolvimento da cartografia geotécnica, posteriormente modificado e melhorado por Pasek e Rybar que afirmaram que o mapa geotécnico, além de representar a separação da litologia e dos solos na superfície, deve indicar sua divisão vertical até determinada profundidade
1948	Quido realiza o mapa de solos de cimentação da cidade de Praga
1949	Nos EUA começa o primeiro trabalho de caráter eminentemente geotécnico do país: o estudo geológico da cidade e arredores de Anchorage, no Alaska
1951	B. Enkel pública o trabalho intitulado "Interpretação dos Mapas Geotécnicos para Engenheiros", no qual analisa a aplicação dos mapas geológicos nos trabalhos de engenharia. Groschopf apresenta na Alemanha um novo método de representação, na escala 1:10.000. Banz adota uma subdivisão em zonas e classifica os solos segundo sua aptidão, baseada, sobretudo, nos valores de carga máxima à implantação de obras
1952	R. D. Miles publica, nos Estados Unidos, trabalho que apresenta um estudo da aplicação de fotografias aéreas na elaboração de mapas para engenharia
1950 a 1953	Graupner, na Alemanha, propõe o sistema de três mapas, já utilizado de forma parcial por seus antecessores, nos quais são representados a situação dos trabalhos, a hidrologia e as zonas para construção. É adotada uma escala geral de 1:10.000, para estudos urbanísticos relacionados ao desenvolvimento de projetos, e indicada uma escala de 1:1.000, para elaboração de mapas destinados a resolução de problemas específicos
1956	Gwinner define a unidade geotécnica como um conjunto de solos cujo comportamento mecânico é o mesmo e utiliza uma legenda que expressa as diferenças entre as unidades, através de zonas, como no trabalho de Benz, de 1951. O autor correlacionou os dados físicos e os geológicos de maneira a tornarem-se úteis aos engenheiros. Segundo Zuquette & Gandolfi (2004), o trabalho de Gwinner representa o ponto de inflexão das cartas comuns para as cartas geológicas aplicadas à engenharia ou cartas geotécnicas. Wawser, Rieger e Hille apresentaram, na Alemanha, um novo método de representação. A Comissão Geotécnica Suíça inicia a realização de uma nova edição do mapeamento geotécnico do país
1959	R. Simek melhora consideravelmente a metodologia desenvolvida por Pasek e Rybar. A cartografia de Simek é composta pelos mapas de geologia, hidrogeologia, documentação, interpretação geral, fichas e tabelas contendo os dados numéricos
1964	Na França são realizados: estudo geotécnico dos problemas de urbanismo do distrito de Montbéliard, por L. Landri, o estudo geológico e geotécnico do solo de Montpellier, por Migayrou e de Besançon, por J. Martin, nos quais foram abordados os problemas de fundações e de viabilidade construtiva. G. Debaille e S. Ghiste, na Bélgica, realizaram o mapeamento geotécnico dos arredores da cidade de Mons, produzindo dois mapas representando as camadas superficiais e do subsolo do terreno
1965	O Departamento de Geologia Aplicada do Bureau Recherches Géologiques et Minières da França começa um experimento de mapeamento geotécnico em uma região ao norte de Paris, usando como metodologia base de apresentação dos mapas as utilizadas na antiga Tchecoslováquia e a escala de 1:10.000

(Fonte: Caballero, 1973; Zuquette & Gandolfi, 2004)

Caballero (1973) afirma haver poucos dados referentes aos trabalhos de cartografia realizados na Inglaterra. O autor faz referência à publicação de P. G. Fookes, no volume XIX da revista *Géotechnique*, de 1969, na qual esse expõe genericamente sua concepção de mapa geotécnico, os requisitos que devem cumprir, os casos em que são necessários e explica o método empregado na elaboração do mapa geotécnico, empregado na construção da prisão de Mangla, no Paquistão Oriental. Nos Estados Unidos, são muitas as organizações que produziram mapas geotécnicos, com destaque para o U. S. Geological Survey, que realizou estudos geotécnicos em importantes metrópoles norte-americanas com o objetivo de produzir mapas geológicos detalhados que subsidiem informações úteis para elaboração de planos urbanísticos e de desenvolvimento (CABALLERO, 1973).

Constata-se, portanto, ter sido após a Segunda Guerra Mundial, principalmente no período que vai de 1955 a 1965, que a utilização da cartografia geotécnica, com fins construtivos e urbanísticos, generalizou-se em quase toda a Europa, Estados Unidos e Canadá. Tornou-se uma ferramenta usual dos organismos de planejamento do território e uma prática sistemática (CABALLERO, 1973). Assim, novas sistemáticas e metodologias foram sendo desenvolvidas e apresentadas. Bastos, G. (2005) destaca as técnicas defendidas por Matula e Pasek, em 1966, por Keifel *et al.*, nos EUA, também em 1966, por Grand, Finlayson *et al.*, na Austrália, em 1968, por Sanejouard, na França, em 1972 e por Dearman e outros, na Inglaterra, em 1974.

Ainda segundo Bastos, G. (2005), após o aprimoramento e consolidação das metodologias, o mapeamento geotécnico entrou, no final da década de 1960, em um novo processo de desenvolvimento, com o início da automatização da elaboração de seus produtos cartográficos, que resultou na criação de vários sistemas digitais de armazenamento de informações geotécnicas. Iniciaram-se vários estudos que acompanharam o desenvolvimento dos sistemas informatizados e que convergiram no conceito de integração das informações sobre o meio físico em uma única base de dados. A criação e o desenvolvimento de sistemas de digitalização e de elaboração digital de mapas, como os sistemas CAD (Computer Aided Design), CAM (Computer Aided Mapping) e AM/FM (Automated Mapping/Facility Management), acompanhou o desenvolvimento dos sistemas de gerenciamento de bancos de dados e possibilitou a união entre eles. Resultou, então, o desenvolvimento de sistemas que unem a base cartográfica digital ao banco de dados descritivo dos atributos das entidades, conhecidos como SIG (sistemas de informações geográficas).

Por sua vez, o início da cartografia geotécnica no Brasil está associado com a atuação do professor austríaco Hermann Haberlehner, da UFRJ, que publicou, no XX Congresso

Brasileiro de Geologia, em 1966, o trabalho intitulado "Princípios de mapeamento geotécnico", o qual foi, segundo Zuquette e Gandolfi (2004), o marco inicial da Cartografia Geotécnica no País. No mesmo congresso, Heine, que trabalhava com Haberlehner na UFRJ, publicou o "Levantamento Geotécnico do Estado da Guanabara", que continha uma nota explicativa de uma folha protótipo que estava sendo desenvolvida, a qual se constituiu no primeiro mapa geotécnico formalmente publicado no Brasil. Esse documento objetivava orientar as ações governamentais sobre os fenômenos geodinâmicos ocorridos nas cidades do Rio de Janeiro e Petrópolis no ano de 1966 (BARROSO & CABRAL, 1997).

Na década de 1970, com base em metodologias estrangeiras, foram realizados novos trabalhos, como os de: Coulon, nos municípios de Morretes, no Paraná, e Montenegro, no Rio Grande do Sul, no ano de 1973; Prandini e outros, em 1976, sobre planejamento e Geologia Ambiental; Infanti Júnior, que também em 1976 apresenta, no Rio Grande do Sul, uma proposta metodológica sobre Geologia de Planejamento; Maciel Filho, que, em 1977, elabora o mapeamento geotécnico da cidade de Santa Maria, também no Rio Grande do Sul (BASTOS, G., 2005).

Os trabalhos de cartografia geotécnica, desde então, em sua maioria, estão ligados a ações de grupos de pesquisas de algumas das principais universidades brasileiras, tais como: Departamento de Geotecnia da EESC da USP; Departamento de Geologia da UFRJ; Departamento de Geotecnia da UNB; Departamento de Geologia da UFMG; Universidades Federais de Pernambuco, Alagoas, Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Ouro Preto; Universidade Estadual de São Paulo - UNESP, de Rio Claro. Também merecem destaque a atuação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo - IPT e da Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais - CPRM. A partir da década de 1980, inúmeros trabalhos foram publicados por essas instituições. Alguns deles, como os de Zuquette (1987) e de Prandini *et al.* (1995), representam marcos da cartografia geotécnica brasileira. Zuquette, por exemplo, estabeleceu uma série de procedimentos metodológicos que viriam a ser seguidos em inúmeros trabalhos posteriores, dentro e fora da Escola de Engenharia de São Carlos da USP.

Zuquette (1993) ao analisar os trabalhos mais significativos realizados no País, a partir de 1966, afirma que estes representam, em síntese, quatro linhas metodológicas: (i) trabalhos desenvolvidos segundo metodologias e sistemáticas de outros países; (ii) trabalhos executados em conformidade com os pressupostos da proposta de Zuquette (1987); (iii) trabalhos que, apesar de possuírem o título de cartografia ou mapeamento geotécnico são, na verdade, transformações pouco aprofundadas de trabalhos de geologia básica; (iv)

trabalhos que não fazem referências expressas a aspectos metodológicos, mas que se enquadram na metodologia do IAEG, bastante ampla. Após essa análise de Zuquette (1993), diversos outros trabalhos foram realizados e divulgados no Brasil; alguns deles, constituindo-se em propostas metodológicas. São exemplos os trabalhos e procedimentos propostos por Dias (1995), na UFRGS; os do Instituto Geológico de São Paulo, baseados no conceito de terreno; os trabalhos desenvolvidos na Universidade Estadual de São Paulo de Rio Claro, baseados nos pressupostos contidos em Cerri (1990; 1996) e Zaine (2000), conhecidos como Mapeamento Progressivo e os trabalhos de cartografia geotécnica, desenvolvidos na Universidade de Brasília (ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004).

### 3.3 TERMINOLOGIA

Nos inúmeros trabalhos de mapeamento geotécnico publicados no País, os termos "cartografia geotécnica" e "mapeamento geotécnico" são utilizados, muitas das vezes, de maneira indistinta, para representar o conjunto de operações científicas, técnicas e artísticas que envolvem, desde a coleta, observações e análise dos dados, até a elaboração de mapas, cartas, plantas e outras formas de expressão. Zuquette e Nakazawa (1998) apontam que essa dupla terminologia se dá em função da influência de duas correntes de trabalhos distintas: a da língua francesa, derivada do termo *cartographie geotechnique* e a da língua inglesa, oriunda do termo *engineering geological mapping*. Já, para Wolski *et al.* (1998), mapeamento e cartografia não se confundem. Segundo estes autores, mapeamento compreende todos os procedimentos e técnicas necessárias à obtenção das informações e dados geotécnicos (atributos) e a cartografia está diretamente relacionada à representação gráfica dos produtos do mapeamento.

Zuquette (1987) e Aguiar (1994 *apud* ZAINÉ, 2000) diferenciam mapas, cartas e plantas, em função da escala e da realização, ou não, de análise interpretativa dos atributos, distinguindo-os conforme segue:

- a) **Mapa geotécnico** - Representação dos atributos geotécnicos levantados, sem realização de análise interpretativa e sempre em escalas inferiores a 1:10.000;
- b) **Carta geotécnica** - Representação dos resultados da interpretação dos atributos que estão num mapa;
- c) **Planta geotécnica** - Representação gráfica realizada em escalas grandes, maiores que 1:10.000, normalmente voltada para locais onde serão executadas obras específicas.



Oliveira (1983, *apud* FRANCO *et al.*, 2010), por sua vez, associa o termo à escala, indicando o uso do termo carta, para aqueles produtos que apresentam uma maior segurança no que tange à precisão das medidas tomadas diretamente do documento cartográfico; em oposição aos mapas, que apresentam um rigor menor em relação à localização espacial e às dimensões dos elementos neles representados. A classificação de Oliveira (1983), não parece levar em conta que o aumento da escala de mapeamento pressupõe o aumento da quantidade de informações referentes ao meio, e quando isso não ocorre, há uma certa descaracterização do documento. Então seu enquadramento como mapa, carta ou planta, deveria considerar outras dimensões e não tão somente a escala.

Cerri *et al.* (1996) afirmam que, independente da escala de representação, uma carta geotécnica pressupõe, necessariamente, uma interpretação na definição dos limites espaciais das características ou atributos do meio geológico. Para Diniz & Freitas (2013), a carta geotécnica sintetiza o conhecimento sobre o meio físico e sobre os processos atuantes em determinado espaço territorial e é composta, em geral, por: uma carta síntese, um quadro legenda e um texto explicativo.

### 3.4 CARTAS E MAPAS GEOTÉCNICOS

Conforme os objetivos, aplicações, formas e conteúdos, é possível encontrar, na literatura, uma diversidade de tipos e nomes de cartas e mapas geotécnicos. Sendo assim, torna-se pertinente uma síntese sobre o tema, a qual é apresentada nos subitens seguintes.

#### 3.4.1 Objetivos e Aplicações

Na literatura nacional e internacional sobre cartografia geotécnica, destacam-se dois tipos de cartas e mapas: os destinados a subsidiar a implantação de obras de engenharia e aqueles cujo objetivo é dar suporte às ações de planejamento territorial e à gestão do uso e ocupação do solo, os quais são preponderantes (PAULA & CERRI, 2008 *apud* FRANCO *et al.*, 2010).

Franco *et al.* (2010) asseveram que o crescimento desordenado das cidades e as atividades antrópicas indiscriminadas evidenciam-se como os motivos da maior produção de cartas e mapas voltados ao planejamento e gestão. Cabe aqui uma observação: em diversas obras e textos sobre cartografia geotécnica são encontrados termos como: "crescimento desordenado da cidade", "crescimento urbano desordenado" ou outros, usados como referência a um crescimento sem ordem. A relação entre crescimento urbano e desordem

deve ser vista com cautela, pois teorias como a da complexidade, sistemas complexos e do caos, recentemente aplicadas às cidades, assumem que, quando longe do equilíbrio, os sistemas urbanos tendem a uma auto-organização; ou seja, seus estados durante a expansão territorial não são aleatórios e obedecem, isto sim, a regras e lógicas internas ao próprio sistema. Neste sentido, como preconiza a teoria do caos: há ordem na desordem e, sendo assim, a desordem a que os diferentes autores se referem diz respeito, isto sim, à ausência ou ineficiência de um planejamento urbano, o qual, tradicionalmente, baseia-se em valores de ordem, regularidade, previsão e controle.

Segundo Peloggia (1997), a aplicação, por excelência, da cartografia geotécnica consiste no planejamento territorial, em especial o urbano, sendo esta a posição dominante no meio técnico-científico. Para a PMSP (1994 *apud* PELOGGIA, 1996), a Carta Geotécnica é uma fonte de informações, onde dados de solos, rochas, morfologias do relevo, são representados cartograficamente e, quando conjugados com as formas de ocupação, possibilitam a interpretação do meio físico e a avaliação das potencialidades e limitações ao uso e ocupação do solo. Para Cerri (1990), a aplicação das cartas e mapas geotécnicos varia conforme o tipo e nível de detalhamento desses documentos. Para tanto, o autor utiliza a seguinte classificação: a) cartas genéricas - possuem caráter exclusivamente indicativo e orientador, servindo de subsídio às ações de uso e ocupação do solo; b) específicas - são determinativas e restritivas, impondo aos projetos formas mais adequadas de uso e ocupação do solo e/ou a necessidade de determinados tipos de obras de engenharia.

Cerri (1990) ainda aponta como principais aplicações das cartas geotécnicas: (i) subsídio à elaboração de projetos voltados ao planejamento e gerenciamento do uso e ocupação do solo, inclusive na elaboração de dispositivos legais de regramento do uso do solo (plano diretor, lei de zoneamento e parcelamento); (ii) apoio a estudos de impacto ambiental; (iii) definição de restrições à ocupação de áreas sob riscos geológicos; (iv) definição de locais adequados, dos cuidados e dos estudos específicos necessários à implantação de obras de engenharia; (v) melhor estimativa dos custos de implantação de empreendimentos; (vi) definição de critérios técnicos para a eficiência dos sistemas de manutenção das obras de engenharia.

Utilizados na definição das potencialidades e das limitações do meio físico, mais especificamente dos terrenos, as cartas e mapas geotécnicos têm aplicação direta na orientação de medidas preventivas e de correção, objetivando minimizar os danos ambientais, os custos e os riscos associados ao uso e ocupação do solo, em especial o uso urbano (NAKAZAWA *et al.*, 1991; PRANDINI *et al.*, 1995; RODRIGUES & AUGUSTO FILHO, 2007). Como instrumento de análise e sistematização integrada dos processos

desencadeados pela ação antrópica, pretérita ou futura, sobre o meio físico, e das modificações ambientais decorrentes, as cartas e mapas geotécnicos são, segundo Freitas & Campanha (2007 *apud* FRANCO *et al.*, 2010), bastante utilizadas como base na leitura técnica do município. Assim, revelam-se referência nas ações participativas para elaboração dos planos diretores municipais.

### 3.4.2 Tipos de Cartas e Mapas Geotécnicos

Diniz (1998 *apud* DINIZ, 2012) classifica as cartas geotécnicas em três tipos, segundo a sua aplicação em ordenamento territorial, em avaliação de processos do meio físico e em estudos de implantação de empreendimentos: (i) cartas voltadas ao planejamento regional e urbano; (ii) cartas de suscetibilidade e de riscos geológicos (processos do meio físico); (iii) cartas geológico-geotécnicas para estudo de viabilidade, projetos básicos e projetos executivos de implantação de empreendimentos de infraestrutura. Zuquette (1987), além de reconhecer a subdivisão dos produtos cartográficos geotécnicos em mapas, cartas e plantas, classifica os primeiros quanto às formas de apresentação dos atributos do meio físico. Para o autor podem haver três tipos básicos de mapas:

- a) Mapas de condições geotécnicas: representam a distribuição espacial, as propriedades e as relações dos atributos do meio físico;
- b) Mapas de zoneamento geotécnico geral: representam as relações funcionais e espaciais dos atributos básicos do meio físico que definem unidades de área com características geotécnicas homogêneas. São elaborados em escalas médias ou pequenas;
- c) Mapas de zoneamento geotécnico específico (cartas de aptidão): As unidades geotécnicas homogêneas são definidas em função de um determinado tipo de problema como, por exemplo, a carta de erodibilidade, carta de grau de estabilidade de taludes, carta de aptidão à urbanização, entre outras.

Para Nakazawa *et al.* (1991) e Prandini *et al.* (1995), conforme seus objetivos e alcance, e a própria natureza dos terrenos estudados, a cartografia geotécnica pode apresentar-se sob diferentes denominações. Os autores reconhecem e conceituam os seguintes tipos de cartas geotécnicas:

- a) Cartas geotécnicas (propriamente ditas) - expõem as limitações e potencialidades dos terrenos e estabelecem as diretrizes de ocupação, diante de suas diferentes formas de uso;

- b) Cartas de risco (geológico) - representam, preponderantemente, a avaliação dos danos potenciais à ocupação, em virtude de uma ou mais características dos fenômenos naturais ou induzidos pelo uso do solo;
- c) Cartas de suscetibilidade - destacam a possibilidade de ocorrência de um ou mais fenômenos ou comportamentos indesejados dos terrenos frente a uma dada forma de uso do solo;
- d) Cartas de atributos ou parâmetros (geológicos, geotécnicos) - abrangem a distribuição espacial dos atributos e parâmetros de interesse ao uso e ocupação do solo.

Bitar *et al.* (1992 *apud* FRANCO *et al.*, 2010; ZAINE, 2000), com enfoque no uso urbano do solo, conceituam, por sua vez, quatro principais tipos de cartas geotécnicas:

- a) Cartas geotécnicas dirigidas - expõem as limitações e potencialidades dos terrenos, a partir da identificação dos problemas de natureza geológico-geotécnica decorrentes das diferentes formas de usos do solo urbano;
- b) Cartas geotécnicas convencionais - apresentam a distribuição geográfica das diferentes características dos terrenos, a partir dos atributos do meio físico e determinados parâmetros geológico-geotécnicos;
- c) Cartas de suscetibilidade - apontam, através de classes de possibilidade, a ocorrência de processos geológicos naturais e induzidos, em áreas de interesse à ocupação urbana.
- d) Cartas de risco geológico - expressam a avaliação de dano potencial pela ocupação, segundo diferentes graus de riscos, resultantes da conjugação da probabilidade de ocorrência de manifestações geológicas (naturais e induzidas) e das consequências sociais e econômicas decorrentes.

Analisando a diversidade na nomenclatura dos diferentes tipos de cartas e mapas geotécnicos, Zaine (2000) reconhece determinada similaridade entre os diferentes tipos de documentos e, baseado nos conceitos de Cerri (1990), Bitar *et al.* (1992 *apud* ZAINE, 2000), Nakazawa *et al.* (1991), Prandini *et al.* (1995), Zuquette (1987) e Aguiar (1994 *apud* ZAINE, 2000), correlaciona seus conceitos e agrupa-os em dois tipos principais de documentos. No entanto, o autor não utiliza os conceitos empregados por Zuquette (1987), limitando-se à simples diferenciação entre cartas e mapas feita por este e por Aguiar (1994 *apud* ZAINE, 2000). Desta forma, o quadro de grupos de Zaine (2000) foi modificado e adaptado, incluindo as definições de Zuquette (1987), conforme a Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Correlação entre denominações e tipos de cartas e/ou mapas geotécnicos

GRUPO	CERRI (1990)	BITAR <i>et al.</i> (1992)	NAKAZAWA <i>et al.</i> (1991), PRANDINI <i>et al.</i> (1995)	ZUQUETTE (1987)
<b>G1</b>	Cartas geotécnicas clássicas	Cartas geotécnicas convencionais	Cartas de atributos ou parâmetros	Mapas de Condições Geotécnicas
<b>G2</b>	Cartas de conflito de uso	Cartas geotécnicas dirigidas	Cartas geotécnicas (propriamente ditas)	Mapas de Zoneamento Geotécnico

(Fonte: em Zaine, 2000)

### 3.4.3 Cartas Geotécnicas Aplicadas ao Planejamento Urbano

Seguindo a classificação de Cerri (1990), para diferentes tipos de cartas geotécnicas, as decisões e ações tomadas nos processos de planejamento do uso e ocupação do solo urbano poderiam ser subsidiadas, tanto pelas cartas geotécnicas gerais, quanto pelas cartas geotécnicas específicas (conforme a classificação de Zuquette, 1987). As cartas geotécnicas gerais ou de zoneamento geotécnico geral representam o meio físico através de unidades do terreno com características geotécnicas homogêneas sem, no entanto, considerar alguma finalidade específica. Tais cartas constituem-se em uma base de informações que podem dar subsídio, dependendo da escala, tanto ao planejamento territorial urbano, quanto ao regional. Por sua vez, as cartas geotécnicas específicas ou de zoneamento geotécnico específico são definidas em função de determinados tipos de problemas e/ou fim específico.

Constata-se, portanto, haver uma significativa variação nos nomes e tipos das cartas geotécnicas associadas às diferentes metodologias empregadas no país, assim como na indicação de suas aplicações: uma carta geotécnica de mesmas características pode apresentar diferentes nomenclaturas e uma carta de mesmo nome pode ter características diferentes e serem indicadas para diferentes usos. Para Diniz (1998 *apud* Diniz & Freitas, 2013), por exemplo, a carta de aptidão à urbanização se aplica ao ordenamento territorial, enquanto as cartas de suscetibilidade são adequadas à avaliação dos processos do meio físico. Sobreira & Souza (2012), por sua vez, indicam as cartas de suscetibilidade para o ordenamento territorial e a carta de aptidão à urbanização para o planejamento urbano.

Visando atender ao disposto na Lei 12.608/2012, Diniz & Freitas (2013) propõem, além da carta de risco, a elaboração de mais dois tipos de cartas: uma voltada ao planejamento municipal, denominada "Carta geotécnica de aptidão à urbanização aplicada ao

planejamento municipal" e outra voltada ao parcelamento do solo, denominada "Carta geotécnica de aptidão ao parcelamento do solo". Segundo os autores, para qualquer uma dessas cartas a premissa é a avaliação da suscetibilidade.

A carta geotécnica de aptidão à urbanização aplicada ao planejamento municipal, deverá, segundo Diniz & Freitas (2013), apresentar atributos do meio físico e dos tipos de ocupação do solo que façam parte dos dados de percepção e avaliação do gestor público, na definição de metas e ações de desenvolvimento do território. Para atingir seus objetivos, a carta deve conter um quadro-legenda com diretrizes/recomendações, para cada uma das unidades de terreno delimitadas, em relação às diferentes formas de uso e ocupação do solo e à probabilidade de ocorrência de processos ou problemas associados (DINIZ & FREITAS, 2013). A carta geotécnica de aptidão à urbanização aplicada ao planejamento municipal, corresponde à carta de orientação (zoneamento) da proposta metodológica de Zuquette (1993), segundo o qual este documento tem a finalidade de orientar o planejador, considerando as diversas formas de ocupação do solo. A carta geotécnica de aptidão urbanística ao parcelamento do solo, por sua vez, tem como objetivo principal fornecer informações que possam orientar o parcelamento do solo, de forma que o processo de uso e ocupação de novas áreas urbanas ocorra de maneira equilibrada com as condições de suporte do meio físico, evitando-se os riscos e as consequências dos desastres (DINIZ & FREITAS, 2013).

Sobreira & Souza (2012 e 2014) adotam uma abordagem que relaciona os níveis hierárquicos estabelecidos na metodologia do detalhamento progressivo de Cerri *et al.* (1996) com os níveis hierárquicos representados pelas cartas de suscetibilidade (geral), aptidão à urbanização (semidetalhe ou intermediário) e risco (detalhe). Indicam essas como produtos cartográfico-geotécnicos diretamente aplicáveis, em diferentes escalas, ao planejamento do uso e ocupação do solo. A abordagem de Sobreira & Souza (2012 e 2014) se adapta aos objetivos do presente trabalho, visto que este se apropria dos princípios contidos no método de Cerri *et al.* (1996), os quais estão presentes, tanto na conformação do método de mapeamento, quanto na própria estrutura lógica de seu desenvolvimento. Neste sentido, as cartas de suscetibilidade e aptidão à urbanização compõem a metodologia apresentada e serão a seguir comentadas. Já, no que tange à carta de risco, esta não será contemplada na metodologia, posto que a etapa de detalhe do método progressivo não faz parte presente estudo, o qual se limitará a indicar as áreas territoriais para sua aplicação.

### 3.4.3.1 Cartas Geotécnicas de Suscetibilidade

A carta geotécnica de suscetibilidade representa cartograficamente a predisposição dos terrenos, conforme sua capacidade, em diferentes formas e graus, de desenvolver determinado fenômeno e/ou processo do meio físico (FELL *et al.*, 2008; JULIÃO *et al.*, 2009; SOBREIRA & SOUZA, 2012; DINIZ, 2012; DINIZ & FREITAS, 2013; BRESSANI e COSTA, 2013; MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2006). O mapeamento de suscetibilidade tem por base o conhecimento dos mecanismos dos processos considerados e das características do meio físico condicionantes e indutoras de seu desenvolvimento (FREITAS, 2000 *apud* SOBREIRA & SOUZA, 2012). Segundo Bressani & Costa (2013), a suscetibilidade é uma estimativa da ocorrência potencial de um determinado processo do meio físico, em determinada porção do território, sem considerar a frequência da ocorrência e os danos associados. É determinada, em geral, de forma qualitativa através dos fatores de predisposição à ocorrência do processo em estudo (BRESSANI e COSTA, 2013; FELL *et al.*, 2008). Por conseguinte, a suscetibilidade relaciona os diferentes fatores que tornam os terrenos predispostos à ocorrência de um determinado fenômeno e/ou processo (evento) e estima a possibilidade, em classes, dessa ocorrência, independente da previsão acerca de quando poderá ocorrer o evento; tampouco, do grau de certeza atribuível a essa possibilidade (BITAR *et al.*, 2014).

As cartas de suscetibilidade possuem uma abrangência geral e representam uma análise inicial do meio físico de uma região (município, região metropolitana, bacia hidrográfica) (SOBREIRA & SOUZA, 2012) e sua produção deve ser realizada através de uma abordagem integrada dos diferentes aspectos do meio físico, que condicionam o desenvolvimento de determinado processo geodinâmico. Conforme o Ministério das Cidades (2013), os agentes condicionantes dos processos geodinâmicos podem ser divididos em naturais e antrópicos. Os agentes naturais subdividem-se em agentes predisponentes e agentes efetivos. Os primeiros correspondem ao conjunto de características intrínsecas do meio físico natural e os últimos, aos elementos diretamente responsáveis ao desencadeamento do processo geodinâmico como, por exemplo, a chuva intensa. Os agentes condicionantes antrópicos correspondem à ação humana, que, de uma forma ou outra, modifica o meio físico natural, contribuindo e/ou sendo determinante para a ocorrência de processos que causam a sua transformação.

Zuquette & Gandolfi (2004) classificam as cartas de suscetibilidade como cartas derivadas ou interpretativas e as tratam de duas formas: (i) como carta de probabilidade de ocorrência de eventos naturais, induzidos ou não; (ii) como carta de probabilidade de ocorrência de eventos perigosos (*hazards*). Para os autores, a probabilidade de ocorrência de um evento é condicionada por atributos predisponentes (relacionados ao espaço) e atributos

deflagradores (relacionados ao tempo), associados a atributos modificadores que a afetam em relação ao tempo e ao espaço. Há um limite crítico relativo à intensidade do processo que separa os eventos naturais dos eventos perigosos e, no que se refere aos últimos, é fundamental que a carta geotécnica forneça informações sobre a intensidade, probabilidade temporal e espacial e os materiais geológicos envolvidos (ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004).

Sobreira & Souza (2012) destacam que a elaboração das cartas de suscetibilidade deve envolver a análise dos processos que podem ocorrer em "áreas mais abrangentes e com agentes deflagradores de maior magnitude", independente da ocupação ou não destas áreas. Embora os autores não façam nenhuma referência, pode-se inferir que a maior abrangência territorial se dá em relação às áreas urbanas ou de expansão urbana; sendo assim, o estudo de suscetibilidade deve ter um caráter regional envolvendo, por exemplo, todo um município ou um conjunto de bacias hidrográficas.

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM), em parceria com o IPT, realizou o mapeamento inicial de 75 municípios dos estados do Espírito Santo, Santa Catarina e São Paulo. O mapeamento objetivou, de forma geral, estabelecer as bases tecnológicas para o desenvolvimento contínuo de um modelo integrado de elaboração de cartas de suscetibilidade a processos do meio físico com potencial para deflagração de desastres naturais. Mais especificamente, o CPRM buscava atender à necessidade de informação para os municípios com "áreas susceptíveis a deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos e hidrológicos correlatos", imposta pelo PNPDEC. Segundo Bittar *et al.* (2014), dado o objetivo geral do mapeamento, a suscetibilidade pode ser inicialmente analisada exclusivamente por meio dos fatores predisponentes intrínsecos da natureza dos terrenos. Para o autor, mesmo que uma área tenha sido modificada pela ação humana, de forma a favorecer ou desfavorecer o desenvolvimento de processos do meio físico, pode-se pressupor que os fatores predisponentes ainda estejam presentes; portanto, devam ser considerados para fins de planejamento e gestão territorial.

A abordagem do CPRM vai ao encontro à de Sobreira & Souza (2012), no que se refere ao caráter geral da carta de suscetibilidade, a qual, além de oferecer uma compreensão abrangente sobre o meio físico de uma região, serve de base para mapeamento e análise geotécnica em maior escala e maior grau de detalhe, nas áreas de ocupação e expansão urbana.

Mas Sobreira & Souza (2014), alertam que, devido ao caráter regional do mapeamento, deve-se entender a limitação de alcance dos modelos de suscetibilidade, os quais estão, em geral, relacionados à identificação de processos de inundações, movimentos de massa



significativos, processos erosivos e corridas de lamas e detritos. Diante disso, os autores sugerem: (i) que as áreas identificadas como de alta suscetibilidade e que já estejam ocupadas, seguindo a metodologia do mapeamento progressivo, devem ser objeto de mapeamento de risco em escala de detalhe; (ii) que as áreas identificadas como de suscetibilidade alta, mas não ocupadas, devem ser, a priori, consideradas como áreas não edificantes; (iii) que as áreas identificadas como de média suscetibilidade, independente de estarem ou não ocupadas, devem ser objeto de avaliação geotécnica para determinação de sua aptidão à urbanização.

A carta de suscetibilidade precisa ser elaborada a partir da integração de diferentes aspectos do meio físico. Sobreira & Souza (2012), com propriedade, sustentam ser preponderante que as análises sejam realizadas com base em informações integradas em ambiente de sistema de informações geográficas (SIG), devido à sua grande capacidade em armazenar dados, à possibilidade de melhora sistemática do modelo através do ingresso de novas informações e à rapidez nos cruzamentos e análises espaciais (qualitativa e quantitativas).

Conforme muda o autor ou seu trabalho, há uma variação na relação e classificação dos dados básicos a serem utilizados na elaboração da carta de suscetibilidade. A CPRM/IPT, por exemplo, elenca uma grande variedade de dados e os organiza em **Base e Produtos**, esclarecendo que o diretório "Produtos" é formado pelo grupo de dados obtidos ou desenvolvidos no âmbito dos trabalhos realizados e o diretório "Base" é formado pelas bases planialtimétrica ou topográfica e por ortofotos (Bittar *et al.*, 2014). Sobreira & Souza (2012), por sua vez, propõem um rol de informações de entrada bem menor do que o utilizado pelo CPRM/IPT, sem apresentar classificação.

Zuquette & Gandolfi (2004) não elencam informações (atributos) específicas para elaboração das cartas de ocorrência de eventos naturais e perigosos. Os autores, isto sim, arrolam uma série de atributos básicos, que devem ser levantados nos processos de mapeamento geotécnico, a partir dos quais podem ser elaborados mapas e cartas de diferentes níveis hierárquicos (conforme a classificação por eles utilizada); dentre os quais, está o nível hierárquico do qual fazem parte as cartas citadas.

A Tabela 3.4 apresenta as informações (dados ou atributos) a serem utilizadas na elaboração da carta de suscetibilidade, segundo Bitar *et al.* (2014), Zuquette & Gandolfi (2004) e Sobreira & Souza (2012).

Tabela 3.4: Atributos a serem utilizados na confecção da carta de suscetibilidade

Sobreira & Souza (2012)	Bitar <i>et al.</i> (2014)	Zuquette e Gandolfi (2004)
Topografia	Altimetria	Hidrografia
Morfometria	Modelo digital de elevação	Águas superficiais
Rede de drenagem	Declividades	Águas subterrâneas
Materiais inconsolidados	Relevo sombreado	Geomorfologia
Geologia estrutural	Hidrografia	Morfometria
Geomorfologia	Isoietas	Geologia
Histórico de eventos	Hietogramas	Substrato Rochoso
Levantamentos de campo	Euações IDF	Evidências de processos
	Padrões de relevo	Materiais inconsolidados
	Feições	Feições do tecnógeno
	Geologia	Biológico
	Pedologia	Vegetação
	Fotos de campo	Corpos d'água
	Áreas de riscos cadastradas	Climático
	Pontos selecionados	Processos antrópicos superficiais
	Limites	Socioeconômicos
	Ortofotos	Uso do solo
	Viário	

(Fonte: Bittar *et al.*, 2013; Zuquette & Gandolfi, 2004; e Sobreira & Souza, 2012)

Sobreira & Souza (2012) argumentam que, para a determinação das classes de predisposição aos processos geodinâmicos, podem ser agregados aos dados básicos, dentre outros, as análises das séries históricas de acumulação de chuva, as cartas de pluviosidade, assim como a correlação entre as faixas de declive e os ângulos de atrito e modelos cinemáticos regionais. Já no que se refere à inserção do uso do solo, segundo os autores, em relação a áreas urbanas, tal inclusão seria mais preponderante na análise de risco, mas em relação aos usos agropastoris e à remoção da cobertura vegetal, esse poderia integrar a análise da suscetibilidade. Por fim, em relação à utilização, ou não, das ações antrópicas na análises, muito embora a suscetibilidade possa ser inicialmente avaliada exclusivamente através dos fatores naturais predisponentes, parece preponderante que ações as quais modifiquem substancialmente a dinâmica dos processos do meio físico como, por exemplo, o desvio ou o represamento de um curso d'água, devam ser consideradas a priori.

### 3.4.3.2 Cartas de Aptidão à Urbanização

Sobreira & Souza (2012) definem a aptidão à urbanização como a capacidade dos terrenos em suportar os diferentes usos e práticas da engenharia e do urbanismo, com o menor impacto e com o maior nível de segurança possíveis. Segundo Diniz & Freitas (2013), as cartas geotécnicas de aptidão à urbanização tem como objetivo principal orientar o parcelamento do solo, de forma a equilibrar as necessidades de uso e ocupação deste com as condições de suporte do meio físico. Tais cartas são essenciais a uma abordagem integrada dos eixos físico-ambiental, jurídico-legal e socioeconômico-organizativos das áreas disponíveis e/ou destinadas à expansão urbana, sobre as quais as análises devem ser executadas em um nível de detalhe, com suporte de dados quantitativos, sempre que possível ou necessário, de forma a indicar suas potencialidades e restrições (SOBREIRA & SOUZA, 2012).

No que se refere ao uso e à ocupação do solo em áreas de crescimento, através do parcelamento do solo, a lei federal 6766/79 dispõe, em seu artigo sexto, que

"Antes da elaboração do projeto de loteamento, o interessado deverá solicitar à Prefeitura Municipal, ou ao Distrito Federal quando for o caso, que defina as diretrizes para o uso do solo, traçado dos lotes, do sistema viário, dos espaços livres e das áreas reservadas para equipamento urbano e comunitário [...]"

Na definição dessas diretrizes de parcelamento, é fundamental a informação geotécnica, principalmente quando o município está sujeito a acidentes dessa natureza (DINIZ & FREITAS, 2013). A importância dos produtos da cartografia geotécnica, em especial das cartas de suscetibilidade e de aptidão à urbanização, também se faz presente, por força do artigo 42-B e 42-A do Estatuto das Cidades, respectivamente, nos casos de projeto de ampliação legal do perímetro urbano e da elaboração do plano diretor dos municípios incluídos no cadastro nacional de municípios "com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos", criado pela lei 12.340/2010 e modificado pela lei 12.608/2012.

A carta de aptidão à urbanização deve conter informações sobre as diferentes feições geológicas e geomorfológicas, delimitando unidades em relação ao seu comportamento geotécnico frente ao uso e ocupação do solo urbano. O objetivo primordial reside em definir áreas que são passíveis de ocupação e os critérios técnicos que devem ser seguidos para esse fim (SOUZA & SOBREIRA, 2012). Acrescenta-se que a definição da ocupação e de

seus critérios técnicos precisam levar em conta os diferentes tipos permitidos de uso do solo e que a carta precisa indicar as restrições legais e físico-ambientais existentes.

Em virtude do nível de detalhamento necessário à elaboração das cartas de aptidão à urbanização e, por decorrência, da quantidade de informações necessárias, poucos municípios brasileiros possuem condições econômicas e estrutura administrativa que permitam o mapeamento do total de seu território urbano e/ou de expansão urbana. Segundo Sobreira & Souza (2012), o mapeamento deve ser direcionado às áreas ocupadas ou disponíveis (física e legalmente) para ocupação futura. Mas, considerando que, em geral, boa parte dos territórios urbanos possuem áreas urbanizadas de uso totalmente consolidado e com consideráveis densidades de ocupação, seus mapeamentos visando à aptidão à urbanização representam um desperdício de esforços e recursos; por isso evidencia-se mais lógico e racional mapear a aptidão das áreas de expansão e das áreas de urbanização não consolidadas.

Por outro lado, a definição legal de uma área como de expansão urbana não significa que esta será ocupada, e mesmo que venha a ser, tal ocupação poderá se dar em um tempo distante; assim as características do meio físico podem estar alteradas pela ação antrópica. No entanto, o crescimento da cidade se dá sob determinada lógica ou conjunto de regras que podem ser estudadas e, até certo ponto, apreendidas; com isso, é possível determinar áreas de potencial crescimento. A adoção de formas de otimização do mapeamento, como a redução do território a ser investigado a áreas realmente necessárias, é fundamental para adequá-lo à realidade dos municípios brasileiros.

Para Diniz & Freitas (2013), os estudos de aptidão à urbanização devem permitir a elaboração de pelo menos dois tipos de cartas: (i) Carta de processos e unidades de terreno: trata-se de uma carta de suscetibilidade, em escala 1:10.000 ou maior, que incorpora registros de cicatrizes e ocorrências geotécnicas em geral, de forma que se possa, a partir da mesma, estimar a probabilidade de ocorrência de processos e eventos que representem perigo à ocupação urbana, bem como as áreas atingidas; (ii) Carta geotécnica de síntese de aptidão à urbanização frente aos desastres: trata-se de uma síntese das recomendações para o planejamento e controle do uso e ocupação do solo. Dirigida a técnicos sem maiores conhecimentos específicos de geotecnia, visa a instrumentalizar a administração pública no fornecimento de diretrizes para novos parcelamentos do solo e para a implantação de obras de urbanização, em áreas de ocupação não consolidada. Para elaboração dos documentos supra referidos, os autores propõem a seguinte sequência de procedimentos, adaptada de Diniz (1992 *apud* DINIZ & FREITAS, 2013) Figura 3.1.



Figura 3.1: Sequência de procedimentos para elaboração da carta geotécnica de aptidão à urbanização (DINIZ & FREITAS, 2013)

Diniz & Freitas (2013) esclarecem que os procedimentos acima adotam como pressupostos que: (i) o usuário é o planejador urbano; (ii) a aplicação básica é subsidiar a expansão urbana e o plano diretor; (iii) a motivação principal é identificar áreas suscetíveis a deslizamentos e enxurradas, vinculando a análise de aptidão à definição das áreas favoráveis e restritas ao parcelamento do solo e ao assentamento; (iii) a escala precisa ser igual ou maior que 1:10.000. Ainda segundo esses autores, na estruturação do inventário, análise e síntese para elaboração da carta precisam ser considerados que: (i) os temas de avaliação necessitam ser determinados a partir das demandas para a área de estudo, após a realização da análise socioeconômica; (ii) a geomorfologia precisa ser considerada critério essencial; (iii) necessita haver elaboração de um modelo de compartimentação da área, através de um sistema hierárquico de classificação dos terrenos; (iv) a utilização dos perfis típicos de alteração dos solos tropicais precisa ser considerado critério de caracterização do sistema de unidade de terrenos.

Na obtenção dos dados temáticos não disponíveis ou na adequação dos mesmos à escala de mapeamento, Diniz & Freitas (2013) tecem as seguintes recomendações: (i) o método de mapeamento recomendado é o sintético, através de análise espacial da geomorfologia e com apoio de sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas - SIG; (ii) o mapeamento de campo, para validação da compartimentação preliminar de terrenos, deve ser voltado à observação dos processos do meio físico, existentes e esperados, por meio da

caracterização de perfis geológico-geotécnicos de topossequência e perfis típicos de solos tropicais; (iii) quando houver necessidade de ensaios, os mesmos deverão objetivar a caracterização de atributos, parâmetros e propriedades que possuam relação com os processos do meio físico objeto da análise de suscetibilidade.

Conforme Sobreira & Sousa (2012), a definição da metodologia de mapeamento para a escala da aptidão depende muito dos dados disponíveis, dos recursos instrumentais e financeiros e do tempo disponível para execução da carta. Desta forma, cabe aos profissionais responsáveis pelo mapeamento definir o método que melhor se adeque às condições de trabalho existentes. O importante, segundo os autores, é que o mapeamento resulte em um produto final com unidades representando: (i) áreas com aptidão à urbanização (áreas já consolidadas e aptas do ponto de vista geológico-geotécnico); (ii) áreas com possibilidade de ocupação, desde que seguindo determinados critérios técnicos (áreas consolidáveis com intervenções estruturantes); (iii) áreas inaptas à ocupação (não consolidáveis), às quais se tem que dar outro tipo de uso. Sobreira & Sousa (2012), propõem, independente do nome final das unidades geológico-geotécnicas e do método utilizado para se definir as áreas, a elaboração de uma carta síntese que, com base nas unidades, aponte as restrições de cada local (relacionadas ao meio físico ou legais) e os critérios gerais de ocupação.

A aplicação da carta de aptidão à urbanização não se restringe a orientações sobre o parcelamento do solo e/ou prevenção de desastres. Seu uso se estende ao planejamento urbano, como um todo, podendo subsidiar desde a definição de leis sobre o uso e ocupação do solo, como a aplicação de instrumentos jurídicos, urbanísticos e tributários previstos no Estatuto das Cidades. Por outro lado, sua utilização como subsídio a intervenções no meio físico não substitui estudos locais para determinação de parâmetros geotécnicos compatíveis com a escala de projeto.

Seguindo a abordagem de Sobreira & Souza (2012), a carta de aptidão à urbanização tem por pressuposto a existência da carta de suscetibilidade e dos dados utilizados para sua elaboração. Neste contexto, desde que estejam em escala adequada, os dados utilizados na elaboração da carta de suscetibilidade, bem como seus produtos derivados, podem ser reutilizados para elaboração da carta de aptidão. De outra forma, não havendo adequação de escala, os dados devem sofrer um detalhamento qualitativo e/ou quantitativo, para serem utilizados na elaboração da carta de aptidão. Sobreira & Souza (2012), alertam que a elaboração de uma carta na escala 1:10.000 ou maior envolve um intenso trabalho de campo, o qual, se existirem dados suficientes, poderá ser precedido de modelagem. A análise de informações geotécnicas quantitativas (como dados de sondagens e ensaios de

laboratório), previamente aos trabalhos de campo, facilita seu desenvolvimento e a delimitação das unidades geotécnicas, pois possibilita uma visão prévia do comportamento dos terrenos (SOBREIRA & SOUZA, 2012).

#### 3.4.4 Escalas de Mapeamento

A definição da escala do mapeamento da suscetibilidade e da aptidão depende diretamente: da precisão cartográfica e de informação; dos dados/fontes disponíveis e da possibilidade (instrumental, financeira, tempo, entre outros), para melhoria de suas escalas e/ou aquisição de novos dados. Muitas vezes, as informações temáticas disponíveis e as condições de trabalho não permitem observar integralmente as escalas recomendadas pela literatura<sup>6</sup>. Tal situação, nas condições brasileiras, não deve inviabilizar totalmente a execução de um trabalho, sendo fundamental, isto sim, que a restrição da precisão das informações esteja claramente informada no documento cartográfico. De outra forma, a adoção dos sistemas digitais torna fundamental o controle das escalas dos diferentes planos de informações (dados temáticos), visto que há uma perda significativa da percepção visual das escalas de mapeamento. O cruzamento dos planos de informações e a geração de dados derivados determinam a obrigatoriedade da compatibilização das escalas de mapeamento (espacial e qualitativa), assim como a escala do dado com menor resolução determina a escala geral do mapeamento.

Zuquette (1987), com base na escala, divide o mapeamento geotécnico em três grupos: a) Escalas Gerais: menores do que 1:100.000; b) Escalas Regionais: de 1:100.000 a 1:25.000; c) Escalas de Semi-detelhe: de 1:25.000 a 1:10.000. Segundo o autor, em função das condições técnicas existentes à época no Brasil, que não são muito diferentes das atuais, não é aconselhada a utilização de escalas maiores que 1:10.000; isto porque o número de investigações necessárias seria tão grande que suplantaria, em muitos casos, a quantidade de informações utilizadas na investigação local. Posteriormente, em trabalho conjunto com Gandolfi, Zuquette esclarece que os mapeamentos em escalas menores do que 1:100.000 devem ficar restritos a trabalhos de síntese geral para fins organizacionais e didáticos, e redivide o mapeamento em quatro classes de escala: a) Regional: de 1:100.000 a 1:50.000; b)

---

<sup>6</sup> A inexistência de uma normatização acerca das escalas do mapeamento geotécnico no Brasil faz da literatura a única fonte de consulta.

Intermediária: de 1:25.000 a 10.000; c) Detalhe: de 1:10.000 a 1:2.500; d) Local: de 1:1.000 a 1:500 (ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004). Constata-se que, os autores deixam de classificar trabalhos de mapeamento realizados em escalas de 1:50.000 a 1:25.000.

O método do detalhamento progressivo de Cerri *et al.* (1996) prevê para as etapas: geral, de semidetalhe e de detalhe, respectivamente, as seguintes escalas: 1:50.000 ou 1:25.000; 1:25.000 ou 1:10.000 (dependendo da escala da etapa geral); e 1:5.000, ou maior. Sobreira & Souza (2014), com base na análise de diversos trabalhos realizados no País e já correlacionando as etapas do método progressivo com as cartas de suscetibilidade, aptidão e risco, propõe que as mesmas obedçam às escalas expressas na Tabela 3.5. Para os autores, as escalas propostas objetivam permitir que os produtos gerados tenham um embasamento técnico e possam ser reproduzidos em outras localidades.

Tabela 3.5: Escalas das Cartas de Suscetibilidade, Aptidão à Urbanização e Risco Geológico

PRODUTO	ESCALAS DE MAPEAMENTO	PROCESSOS GEODINÂMICOS PASSÍVEIS DE IDENTIFICAÇÃO
Cartas de Suscetibilidade	1:25.000 ou maiores	Movimentos gravitacionais de massa, inundações, corridas, erosões, assoreamento, processos costeiros, sismos induzidos.
Carta de Aptidão à Urbanização	1:10.000 ou maiores	Movimentos gravitacionais de massa translacional, inundações, alagamentos, corridas, erosões lineares de grande porte (ravinas), assoreamento, subsidências e colapsos, queda e rolamento de blocos, processo costeiros.
Cartas de Riscos Geológicos	1:2.000 ou maiores	Movimentos gravitacionais de massa - translacionais, rotacionais, em cunha, inundações, alagamentos, corridas de lama e detritos, rastejos, erosões lineares (sulcos, ravinas e voçorocas), solapamento de margem, assoreamento, subsidências e colapsos, expansão de terrenos, queda e rolamento de blocos, processos costeiros.

(Fonte: Sobreira & Souza, 2014)

Diniz & Freitas (2013), por sua vez, estabelecem as seguintes escalas de mapeamento: (i) Carta geotécnica de aptidão à urbanização aplicada ao planejamento municipal: 1:25.000; (ii) Carta geotécnica de aptidão à urbanização aplicada ao parcelamento do solo: 1:10.000; (iv) Carta de risco: 1:5.000.

### 3.5 PRINCIPAIS METODOLOGIAS INTERNACIONAIS DE MAPEAMENTO

Como bem observado por Zaine (2000), grande parte dos trabalhos, em especial as teses e dissertações sobre o tema geral da cartografia geotécnica ou, de forma mais ampla, da geologia de engenharia, publicadas no País, trazem repetidas referências às principais



metodologias internacionais desenvolvidas e divulgadas a partir da década de 1970. Em geral, são feitas referências a metodologia do IEAG, metodologia PUCE, metodologia Francesa (ou de Sanejouand) e metodologia ZERMOS.

Em trabalhos como o de Zuquette (1987), que trata do desenvolvimento de metodologia com base na análise das pré-existentes, encontra-se um rol de metodologias ampliado e as descrições mais pormenorizadas. Neste trabalho, por exemplo, o autor descreve e analisa as seguintes metodologias: (i) Metodologia ZERMOS (francesa); (ii) Metodologia PUCE (australiana); (iii) Metodologia Espanhola; (iv) Sistema ARDA (canadense); (v) Sistemática de Ontário (canadense); (vi) Metodologia Suíça; (vii) Mapas de solos para fins de engenharia (New Jersey, EUA); (viii) Metodologia da Inglaterra; (ix) Metodologia de Mathewson & Font; (x) Metodologia para mapeamento de áreas com materiais instáveis; (xi) Sistemática aplicada na região de Franconia/Virginea (norte americana); (xii) Metodologia aplicada na antiga União Soviética (russa); (xiii) Sistemática de M. Humbert; (xiv) Metodologia de Kiefer (norte americana); (xv) Sistemática Bottino & Civita (italiana). O mesmo autor em conjunto com Gandolfi, em trabalho posterior, descreve também as metodologias do IAEG (internacional) e a GASP (Hong Kong) (ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004).

### 3.5.1 Metodologia do IAEG

Baseada em trabalhos realizados em diferentes países, a metodologia da *International Association of Engineering Geology* (IAEG) foi desenvolvida com a finalidade de estabelecer um padrão internacional de mapeamento geotécnico, cuja aplicação fosse viável técnica e economicamente à maioria das nações. Por consequência, trata-se de uma metodologia abrangente, que foi desenvolvida por uma comissão composta por membros do IAEG, formada para esse fim, cujos primeiros resultados foram publicados no Boletim da IAEG de 1970. Posteriormente, a metodologia foi publicada pela UNESCO em 1976, sob a forma de um guia para elaboração de mapas geotécnicos. Além de indicar os fatores e feições a serem considerados, entre eles o caráter das rochas e dos solos, as condições hidrogeológicas e geomorfológicas e os fenômenos geodinâmicos, a sistemática indica as principais técnicas para realização dos trabalhos e as formas de apresentação e interpretação dos resultados (ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004). A metodologia da IAEG classifica os documentos gráficos segundo a finalidade, conteúdo e escala, conforme a Tabela 3.6.

Tabela 3.6: Classificação dos mapas geotécnicos, conforme a metodologia do IAEG

CLASSIFICAÇÃO	TIPOS DE MAPAS
<b>Quanto a finalidade</b>	<p><b>Mapas de finalidade especial</b> - representam aspectos do meio físico ou condições geotécnicas específicas, para a realização de determinado tipo de obra de engenharia;</p> <p><b>Mapas de multifinalidade</b> - contém informações geotécnicas variadas para subsidiar finalidades diversas de planejamento e engenharia.</p>
<b>Quanto ao conteúdo</b>	<p><b>Mapas analíticos</b> - representam componentes e/ou aspectos individuais do meio físico e sua finalidade vem expressa no título;</p> <p><b>Mapas compreensivos</b> - representam conjuntamente diversos aspectos do meio físico, podendo ser de dois tipos:</p> <p>(a) <b>Mapas de condições geotécnicas</b> - representam os componentes sem nenhuma avaliação dos mesmos;</p> <p>(b) <b>Mapas de zoneamento geotécnico</b> - registram e interpretam as informações geológico-geotécnicas, delimitando áreas homogêneas.</p> <p><b>Mapas auxiliares</b> - mapas de documentação;</p> <p><b>Mapas complementares</b> - mapa geológico, pedológico, geomorfológico e outros.</p>
<b>Quanto à escala</b>	<p><b>Mapas em grande escala</b> - para finalidades específicas, na escala 1:10.000 ou maior;</p> <p><b>Mapas em escala intermediária</b> - para o planejamento regional, na escala 1:10.000 à escala 1:100.000;</p> <p><b>Mapas em pequena escala</b> - para o mapeamento de caráter geral, na escala 1/100.000 ou menor.</p>

(Fonte: Zuquette & Gandolfi, 2004)

Para a aplicação da metodologia às realidades dos diferentes países, o usuário tem de: (a) determinar a escala e o tipo de documento adequados; (b) conciliar o número de informações com as exigências da metodologia; (c) ordenar os componentes, as feições e os atributos do meio físico de interesse; (d) determinar as formas de obtenção dos atributos e de definição de suas classes. Assim, em teoria, a metodologia poderia ser aplicada à qualquer país, mas a dificuldade em atender seus requisitos determina uma adaptação às condições do país de estudo e a conseqüente definição de uma nova sistemática, o que praticamente torna inviável sua utilização (ANDRADES, 2005)

### 3.5.2 Metodologia PUCE

O Sistema PUCE (*Pattern, Unity, Component, Evaluation*) resultou do trabalho de diversos pesquisadores australianos que, no final da década de 1960, e início da década de 1970, realizaram análises dos diferentes sistemas utilizados, até aquele momento, para avaliação dos terrenos (ZUQUETTE, 1987) e que culminou no trabalho de Grant, de 1975. Seu

objetivo, segundo Zuquette & Nakazawa (1998), é o de unificar e racionalizar os procedimentos de investigação geotécnica. A sistemática compreende duas fases gerais: a classificação do terreno e a sua avaliação, com o objetivo de subsidiar trabalhos de engenharia e o planejamento do uso e ocupação do solo (BASTOS, G., 2005).

Segundo Zuquette (1987) e Bastos, G., (2005), o mapeamento no sistema PUCE é orientado pela seguinte série de critérios: (i) a classificação do terreno tem por base princípios geomorfológicos; (ii) os elementos das classes de terreno devem possuir propriedades homogêneas; (iii) a avaliação da natureza das classes deve ser rigorosa; (iv) a classificação dos terrenos deve seguir uma hierarquia, de forma que a classe do topo seja composta de associação de classes precedentes; (v) o sistema de mapeamento deve ser compatível com o meio computacional e a nomenclatura deve ser numérica e representar os parâmetros do terreno; (vi) os terrenos devem ser classificados com base na geomorfologia, geologia, solos e vegetação.

Centrada na divisão da área em classes de terrenos, hierarquizadas a partir de características gerais, a metodologia divide os terrenos em quatro classes hierárquicas: província, padrão de terreno, unidade do terreno e componente do terreno (ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004).

### 3.5.3 Metodologia Francesa

A metodologia francesa surgiu com a publicação, pelo pesquisador francês Sanejouand, em 1972, de uma síntese dos diversos trabalhos de cartografia geotécnica realizados na França até então. O autor, objetivando uma homogeneização na elaboração das cartas geotécnicas francesas, propõe uma reformulação do processo de mapeamento geotécnico francês. A metodologia proposta utiliza, como fatores a serem avaliados para elaboração dos mapas/cartas geotécnicos, as características e propriedades dos solos e das rochas, a hidrogeologia, a geomorfologia, os processos geodinâmicos e as modificações do meio físico pela ação do homem (SANEJOUARD *apud* BASTOS, G., 2005). A sistemática proposta por Sanejouand classifica as cartas geotécnicas segundo a escala, o conteúdo e a forma, conforme a Tabela 3.7.

Tabela 3.7: Classificação das Cartas Geotécnicas pela Metodologia Francesa

CLASSIFICAÇÃO		FINALIDADE	
<b>Quanto à escala</b>	1/100.000 a 1/50.000	Aplicadas ao planejamento de área metropolitanas	
	1:25.000 a 1:/10.000	Aplicadas à áreas urbanas	
	1/10.000 a 1/5.000	Com fim específico	
	maiores que 1/5.000	Cartas de zoneamento para o planejamento	
<b>Quanto ao conteúdo e à forma</b>	Cartas Analíticas ou de fatores	Normais	Aplicadas ao planejamento regional e local.
		Especiais	Aplicadas a problemas específicos, tal como o nível do lençol freático.
	Cartas Sintéticas ou de aptidão	Aplicadas a usos específicos	

(Fonte: Bastos, G.,2005)

As cartas analíticas ou de fatores constituem um conjunto de documentos básicos, formado pelas cartas de documentação, de substrato rochoso, dos materiais de cobertura, cartas hidrogeológica e geomorfológica. A partir de sua interpretação, são elaboradas as cartas sintéticas ou de aptidão, as quais delimitam áreas homogêneas e são voltadas a usos específicos, tais como: fundações, vias de transporte, escavabilidade, materiais de construção e outras (ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004).

### 3.5.4 Metodologia ZERMOS

A sistemática ZERMOS (zonas expostas ao risco de movimentos do solo) foi adotada pelo serviço geológico francês, sendo empregada para áreas com potencial movimento de massa, em geral, encostas com acentuadas inclinações. As cartas ZERMOS são documentos de síntese, baseados em uma análise, em dado momento, dos movimentos do solo e dos fatores que podem ter efeitos sobre a sua estabilidade (declividade, geologia, drenagem, etc.) e que definem zonas de instabilidade, graduadas de acordo com sua natureza e com seu grau de risco (ANTONIE, 1977; HUMBERT, 1977; PORCHER & GUILLOPE, 1979 *apud* NOBREGA *et al.* 1992). Segundo Zuquette & Gandolfi (2004), tanto a hierarquia espacial como a graduação do nível de instabilidade, são baseadas, essencialmente, na análise de determinados fatores temporais ou permanentes, que afetam a estabilidade dos terrenos (ZUQUETE & GANDOLFI, 2004).

O levantamento dos dados das áreas de potencial instabilidade dos terrenos é feito através de uma ficha técnica, na qual é realizada a identificação, através de um croqui esquemático, da região ou local de estudo e são observados e registrados diversos itens para, por fim,

serem realizadas as interpretações e prognósticos. O mapeamento, seguindo a metodologia ZERMOS, é realizado em, no mínimo, três etapas: na primeira etapa é realizado um levantamento bibliográfico e feitas entrevistas sobre a ocorrência dos movimentos de terrenos na região estudada, sua frequência e amplitudes; na segunda etapa é realizado um estudo geomorfológico por meio de fotointerpretação; e na última etapa é realizado o controle dos principais fatores geológico-geotécnicos (ZUQUETTE & NAKAZAWA, 1998).

### 3.6 PRINCIPAIS METODOLOGIAS DE MAPEAMENTO UTILIZADAS NO BRASIL

No Brasil, após o já citado trabalho de Haberlehner, realizado na cidade do Rio de Janeiro, entre os anos de 1965 e 1966, considerado o marco inicial da cartografia geotécnica brasileira, começaram a surgir diversos outros, com metodologias que variavam em função da formação e experiência dos autores, das diferentes concepções de trabalho e, principalmente, do objetivo dos projetos realizados (CERRI, 1990). Esses trabalhos seguiam as linhas das sistemáticas estrangeiras que, mesmo adaptadas, não conseguiam atender às condições ambientais, tecnológicas e socioeconômicas brasileiras. Somente entre o final da década de 1980 e o início da década de 1990 é que a cartografia geotécnica brasileira toma impulso e começam a surgir propostas metodológicas adaptadas às condições do País.

Em 1987, na Escola de Engenharia de São Carlos, da USP, Zuquette apresenta sua tese de doutorado intitulada "Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras", na qual o autor propõe uma série de procedimentos metodológicos que continuaria a desenvolver em sua tese de livre-docência, de 1993. A partir do final da década de 1970, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) iniciou, através de sua Divisão de Geologia, diversos trabalhos com o objetivo de dar solução a problemas específicos, relacionados ao meio físico de algumas cidades brasileiras e que acabaram por resultar no desenvolvimento de uma metodologia própria, a qual foi divulgada nos trabalhos de Nakazawa *et al.* (1991) e de Prandini *et al.* (1995). No mesmo período, outros grupos de pesquisas desenvolvem e publicam seus procedimentos metodológicos, tais como: o Instituto de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IG/UFRJ) (BARROSO *et al.*, 1986; BARROSO *et al.*, 1993 *apud* ZAINÉ, 2000; ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004); a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) (DIAS, 1995); o Instituto de Geologia de São Paulo (IG/SP) (YOSHINAGA *et al.*, 1995; PIRES & YOSHINAGA, 1995 *apud* ZAINÉ, 2000; ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004). Zuquette & Gandolfi (2004), ainda citam os trabalhos de mapeamento geotécnico desenvolvidos por

pesquisadores ligados à Universidade Estadual de São Paulo (UNESP), baseados na metodologia de mapeamento progressivo proposta por Cerri (1990) e da Universidade de Brasília (UnB), com propostas de adaptações dos trabalhos de Zuquette (1987 e 1993).

Os procedimentos metodológicos empregados resultaram da assimilação de uma vasta experiência realizada nos países desenvolvidos, adaptadas às condições do nosso meio físico (SOUZA & GANDOLFI, 1993). Segundo Moretti (1989 *apud* VALENTE, 1999), as metodologias desenvolvidas no Brasil se utilizam do cruzamento de informações existentes em mapas geológicos, pedológicos e geomorfológicos e das características de comportamento dos solos, diante das solicitações a eles impostas. Diante disso, as cartas geotécnicas acabam fortemente condicionadas pelo tipo, qualidade e quantidade das informações disponíveis sobre o meio físico.

Maciel Filho, em 1989, afirmava ainda não existir consenso na metodologia a ser utilizada na realização de um mapeamento geotécnico no Brasil. Segundo o autor, os procedimentos deveriam ser estabelecidos para cada região a ser estudada, em função das características próprias do meio físico, dos dados disponíveis, da finalidade do mapeamento, da escala do trabalho e dos aspectos econômicos (MACIEL FILHO, 1989 *apud* VALENTE, 1999). A assertiva de Maciel Filho permanece válida até os dias atuais, embora os procedimentos de mapeamento aplicados às diferentes regiões estudadas estejam mais relacionados às metodologias empregadas pela instituição à qual o pesquisador está ligado, do que às características físicas do meio físico estudado.

Apesar da inexistência de uma “metodologia brasileira de cartografia geotécnica”, destacam-se, por seu uso e abrangência, as propostas metodológicas desenvolvidas pelo IPT; da EESC-USP; a sistemática utilizada no sul do País e desenvolvida no Laboratório de Mapeamento Geotécnico de Grandes Áreas (LAMGEO) da UFRGS (posteriormente continuado na UFSC); a metodologia de Cerri (2000); e a metodologia adotada pelo GEGEP (Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas e Planícies da Universidade Federal do Pernambuco), proposta por Diniz e Freitas (2013) e que se relaciona, em muito, com a metodologia aplicada no âmbito da Pós-graduação em Geotecnia da UNB (Universidade de Brasília).

### 3.6.1 Metodologia do IPT

Apresentada por Nakazawa *et al.* (1991) e Prandini *et al.* (1995), a metodologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. foi desenvolvida a partir dos resultados de uma série de trabalhos relacionados a problemas específicos do meio físico,

realizados pelo instituto no estado de São Paulo, entre meados da década de 70 e fim da década de 80. A metodologia objetiva a elaboração de cartas geotécnicas estruturadas com base na identificação dos problemas do meio físico relacionados ao uso do solo, de forma a oferecer respostas efetivas aos usuários (PACHECO & OLIVEIRA, 1998).

Para Prandini *et al.* (1995), as cartas geotécnicas, enquanto expressão do conhecimento geológico aplicado aos problemas decorrentes do uso e ocupação do solo pelo homem, possibilitam a reavaliação da interação entre a ocupação e o meio físico e a orientação de medidas preventivas e corretivas. Com algumas variações, em função da diversidade dos terrenos, das solicitações e modificações do meio físico, a metodologia adotada pelo IPT segue a seguinte sequência de procedimentos (NAKAZAWA *et al.*, 1991; PRANDINI *et al.* 1995):

- a) **formulação de uma hipótese/modelo inicial orientador:** identificação, com base no conhecimento da dinâmica de uso e ocupação do solo local, dos problemas e recursos existentes ou esperados;
- b) **análise fenomenológica e de desempenho:** análise e identificação das causas e do desenvolvimento dos problemas previamente detectados, estabelecendo-se, para cada um deles, as características fisiográficas de interesse para ocupação;
- c) **mapeamento e compartimentação:** etapa composta por três procedimentos: (i) definição das principais evidências das características de interesse e definição dos critérios de correlação, interpolação e extrapolação, que resultem na configuração da distribuição espacial dessas características; (ii) prospecção orientada das informações e expressões geográficas das características de interesse (iii) definição de compartimentos homogêneos;
- d) **representação:** apresentação dos resultados de forma que o público interessado consiga, facilmente, compreender e utilizar as informações.

A metodologia do IPT pode ser resumida por meio do seguinte fluxograma de etapas e produtos (Figura 3.2):

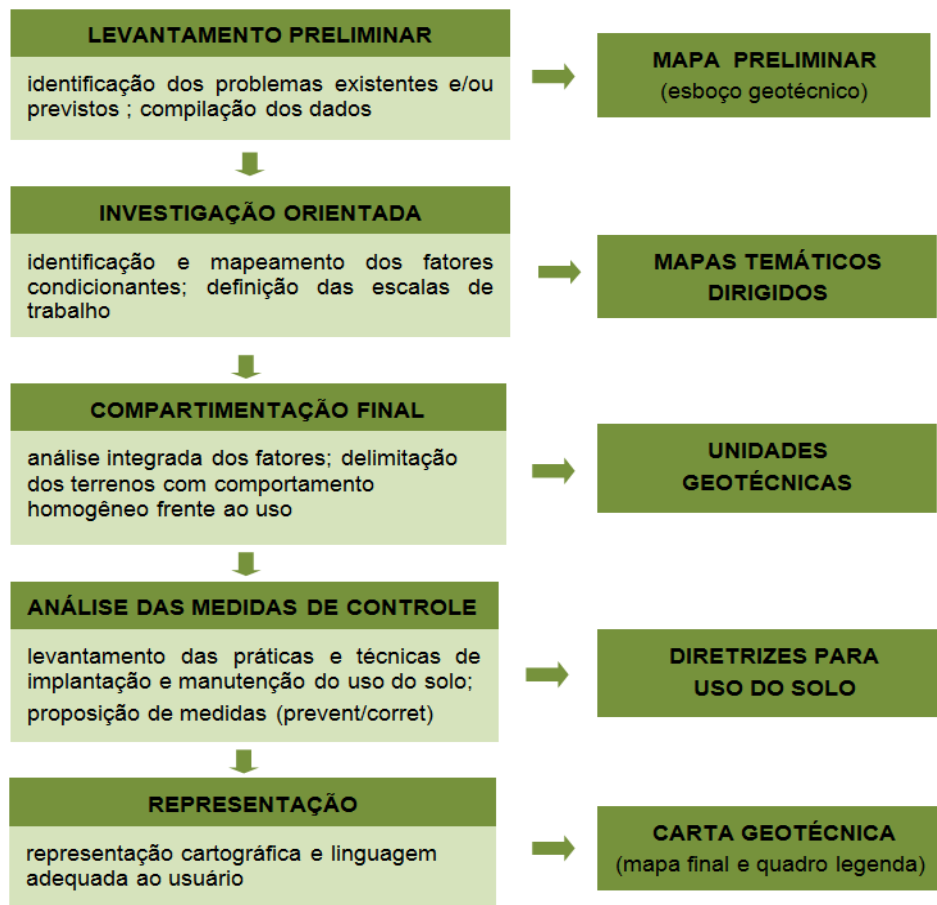


Figura 3.2: Metodologia para elaboração de carta geotécnica do IPT: etapas e produtos (baseada em PRANDINI *et al.*, 1995)

A maioria dos trabalhos realizados pelo IPT está voltada para a resolução de problemas específicos como, por exemplo, erosões, escorregamentos, solapamento, recalques, entre outros, mas há, entretanto, trabalhos de caráter geral, voltados ao planejamento de forma mais ampla (ABREU, 2007). Zaine (2000), elenca diversos trabalhos de mapeamento geotécnico realizados pelo IPT, entre os anos de 1980 e 1997, para os quais se observam, em geral: (i) escalas entre 1:20.000 e 1:50.000 (com alguns exemplos de cartas na escala 1:5.000); (ii) uso de bases topográficas; (iii) simbologia baseada em hachuras, cores, símbolos gráficos e algarismos; (iv) não realização de ensaios; (v) cruzamento de dados por sobreposição; (vi) número de zonas, variando entre 4 e 11. O mesmo autor aponta, como premissas básicas da metodologia do IPT: a) partir dos problemas existentes e/ou de ocorrência provável e seus fatores condicionantes mapeáveis; b) estabelecer uma fisiografia do desempenho dos terrenos, que integre os processos do meio físico e as formas usuais de uso e ocupação do solo; c) concentrar esforços na coleta objetiva e orientada de dados, voltada para a definição de unidades de terreno com comportamento uniforme, de modo que correspondam diretamente às distintas práticas de prevenção e/ou correção; c) superar o determinismo "ingênuo" de boa parte das aptidões, valendo-se das técnicas disponíveis para



maximização de opções viáveis de uso do solo. Segundo Zaine (2000), o mapeamento geotécnico do IPT raramente apresenta quantificação de parâmetros geológico-geotécnicos.

Os trabalhos do IPT, em geral, resultam de um número reduzido de unidades e as aptidões são caracterizadas através de quadros-síntese presentes nas próprias cartas, nos quais são descritas as características geológico-geotécnicas das unidades, os aspectos legais pertinentes, os problemas existentes e/ou esperados e as recomendações e/ou restrições quanto ao uso do solo (PAULA & CERRI, 2004). De acordo com Nakazawa *et al.* (1994), a recomendação para uso e ocupação do solo presente nas cartas do IPT busca transcender às análises correntes, que tipificam os terrenos de forma primária como próprios/impróprios aos diferentes tipos de uso e ocupação. Assim desconsideram, não só a possibilidade do emprego das técnicas de enfrentamento existentes, como também as variáveis socioeconômicas e institucionais determinantes como, por exemplo, a presença de infraestrutura, que pode viabilizar o uso e ocupação dos terrenos.

### 3.6.2 Metodologia da Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP

A metodologia da EESC/USP originou-se nas proposições de Zuquette (1987 e 1993) e foi consolidada através de trabalhos posteriores, desenvolvidos pela instituição, principalmente no centro-oeste do Estado de São Paulo. Em sua tese de doutorado, Zuquette (1987) faz uma completa revisão do estado da arte da cartografia geotécnica até aquele momento e, baseada nesta, propõe um método de mapeamento adequado às condições brasileiras, procurando adequá-lo às condições socioeconômicas do País, através de uma relação custo/benefício favorável, sem detrimento do nível técnico/tecnológico a ser adotado (PACHECO & OLIVEIRA, 1998). Trata-se de um marco na pesquisa em cartografia geotécnica no Brasil, cujo princípio básico está centrado no procedimento global do processo, englobando, desde a obtenção dos atributos, até a elaboração de cartas específicas para os diferentes usuários. Estudos como os de Liporaci (1994 *apud* ABREU, 2007) sobre procedimentos e metodologia de mapeamento geotécnico e Lollo (1996), a respeito da aplicação de técnicas de avaliação do terreno no processo de cartografia geotécnica, entre outros, contribuíram para o desenvolvimento da metodologia, que teve seus principais procedimentos e produtos relatados por Zuquette & Gandolfi (2004).

A proposta metodológica de Zuquette (1987) teve como objetivo básico a elaboração de documentos de auxílio na definição de diretrizes para o uso e ocupação do solo que reduzam ou minimizem os impactos negativos sobre o meio físico. Então, a metodologia é voltada à elaboração de mapeamento geotécnico preventivo e de gerenciamento em regiões

para as quais não existam informações básicas sobre o meio físico e que, por conseguinte, exigem a produção de dados que vão, desde os fundamentais, até os mais específicos. Os trabalhos de mapeamento utilizando a metodologia podem estar direcionados, tanto à obtenção de uma visão geral da região investigada, quanto a vetores específicos, tais como erosão, assoreamento, movimentos de massa, entre outros, e possuem, como finalidades básicas, o planejamento regional e urbano, a proteção ambiental, a orientação, a otimização de custos, o manejo, a gestão ambiental e o desenvolvimento equilibrado.

Conforme Abreu (2007), as definições apresentadas por Zuquette (1993) para mapeamento de prevenção e gerenciamento expressam a "filosofia" do método, qual seja: a de que o mapeamento geotécnico para essas condições atinge melhor seus objetivos quando se considera um grupo abrangente de atributos, que retratem as variações e características do meio físico, de acordo com o detalhe exigido pela escala de trabalho e pelos componentes em análise. De acordo com Zuquette (1993), a metodologia busca definir e delimitar, para as condições gerais e específicas, as unidades geológico-geotécnicas, através da associação das unidades do substrato rochoso, dos materiais inconsolidados, do relevo e das águas superficiais e subterrâneas.

A metodologia da EESC/USP está centrada no conceito de atributo que, para Zuquette (1987), é o elemento básico a ser colocado e operado sobre um documento cartográfico como informação que representa determinado aspecto do meio físico. De acordo com Zuquette & Gandolfi (2004), um atributo isolado é a informação que pode ser identificada, caracterizada e classificada. Zuquette (1993) divide os atributos em primários e secundários. Os primários são responsáveis pela origem dos materiais rochosos e feições estruturais geológicas e os secundários têm seu início imediatamente após cessarem os primários e são responsáveis pelo comportamento dinâmico do meio físico e pela origem do perfil de alteração, erosão e deposições, comportamento da água e as características do relevo.

Para Zuquette (1993), o meio físico é formado pela repetição de arranjos tridimensionais com diferentes categorias de heterogeneidade, em uma mesma região e estão sempre associados a uma determinada unidade típica de relevo. Para o autor, "o mapeamento geotécnico do meio físico deve ter como objetivo identificar, caracterizar e classificar qualitativa e quantitativamente as feições de cada arranjo, assim como sua distribuição na região, sempre respeitando as limitações da escala". Ainda no que se refere aos atributos, Zuquette (1993), afirma que, quando existir um grupo desses, são necessárias análises para estabelecer os aspectos ou relações que auxiliam no ordenamento, na orientação e na obtenção dos mesmos, tais como o interrelacionamento e as possíveis covariações. Além disso, o autor utiliza uma matriz bidimensional para cruzar 59 atributos e chega à conclusão

de que os atributos do grupo litológico (litologia, textura e origem dos materiais inconsolidados, *landforms*, fatores de retardamento, infiltração, escoamento superficial, estruturas, variação em profundidade e densidade de canais) apresentam alta correlação com os demais; conseqüentemente, devem ter suas obtenções priorizadas. Com o objetivo de ordenar e facilitar a obtenção dos atributos, Zuquette (1993) propõe a seguinte ordem de desenvolvimento do processo de mapeamento geotécnico (Tabela 3.8):

Tabela 3.8: Ordem das etapas de trabalho de mapeamento geotécnico

ORDEM	ETAPA DE TRABALHO
1º	Geomorfologia
2º	Substrato Rochoso
3º	Material inconsolidado
4º	Definição preliminar dos arranjos tridimensionais
5º	Água superficial
6º	Águas subterrâneas
7º	Definição final dos arranjos tridimensionais
8º	Amostragem
9º	Ensaio
10º	Definição das unidades geológico-geotécnicas

(Fonte: Zuquette, 1993)

Diferentemente da metodologia do IPT, a metodologia da EESC/USP prevê a realização de ensaios, sendo comumente realizados os de caracterização (granulometria conjunta, massa específica dos sólidos, massa específica seca de campo, limites de Atterberg, mini-MCV, perda de massa por imersão, erodibilidade, adsorção de azul de metileno, compactação Proctor normal e infiltração). Propriedades cuja determinação envolve ensaios mais elaborados como, por exemplo, permeabilidade e colapsividade, normalmente são estimadas através de correlações, como proposto por Zuquette (1997).

No que tange às unidades homogêneas ou, como define Zuquette (1993), com heterogeneidade aceitável, o autor afirma, com propriedade, que sua definição é a principal tarefa a ser realizada na elaboração das cartas de zoneamento geotécnico geral e específico, e sua precisão depende dos cuidados e da eficiência dos procedimentos adotados, bem como do grupo de atributos e níveis de valores considerados. Para tanto, a metodologia da EESC/USP considera a utilização de três grupos de procedimentos: (i)

sobreposição de documentos; (ii) hierarquização dos fatores e atributos; (iii) a combinação de métodos.

Abreu (2007), analisando uma série de trabalhos de mapeamento realizados pela EESC/USP, verifica que foram utilizadas diferentes e variadas formas de sobreposição e hierarquização de dados como, por exemplo: definição subjetiva dos atributos e de seus pesos, em função do maior ou menor grau de influência do atributo em relação ao objetivo do documento; utilização de análise estatística da frequência de ocorrência para definição dos pesos dos atributos; utilização de ordenação paritária hierárquica e análise multicritério para definição dos mesmos. Afirma a autora que este se constitui um dos aspectos do método que está menos consolidado. Outro aspecto de pouca padronização, segundo Abreu (2007), relaciona-se a forma de representação das informações nos documentos cartográficos, apesar da proposta de Zuquette (1987) neste sentido.

### 3.6.3 Metodologia do Detalhamento Progressivo - UNESP/RIO CLARO

O método do detalhamento progressivo foi proposto por Cerri *et al.* (1996), para a elaboração de cartas e/ou mapas geotécnicos de áreas urbanas. A partir de uma revisão dos principais conceitos associados à cartografia e da análise de trabalhos realizados no Brasil, os autores elaboraram uma metodologia para o desenvolvimento de estudos geológico-geotécnicos em três etapas sucessivas, com nível de detalhes crescentes, do geral para o particular. Quando da proposição do método, já haviam sido desenvolvidos no País alguns trabalhos de cartografia geotécnica, abordando diferentes escalas, mas Cerri *et al.* (1996) foram os primeiros a apresentar uma sistemática para aplicação da técnica (ABREU, 2007). Segundo estes, um dos fundamentos da proposta reside na impossibilidade de execução de estudos geológico-geotécnicos em uma única escala de trabalho, que contemplem todos os níveis de informações do meio-físico necessários ao planejamento e à resolução de problemas geológico-geotécnicos urbanos já instalados.

O método do detalhamento progressivo centra-se na ideia de que os estudos mais genéricos devem apontar as necessidades para os mais específicos, de forma a se obterem avaliações mais detalhadas e precisas se necessário e sem, desta forma, perder os contornos regionais do estudo e desperdiçar esforços. Com isso, parte de uma **etapa geral** (primeira etapa) na escala 1:50.000 ou 1:25.000, passa por uma **etapa intermediária** (segunda etapa) na escala 1:25.000 (quando a primeira etapa é realizada na escala 1:50.000) ou 1:10.000 (quando a primeira etapa é realizada na escala 1:25.000) e chega à **etapa de detalhe** na escala 1:5.000 ou maior (CERRI, *et al.* 1996).

Os trabalhos da **etapa geral** compreendem as áreas urbanizadas, com perspectivas de urbanização em médio prazo, e as adjacentes; o objetivo principal da etapa é, a partir da integração de dados de levantamentos realizados em diferentes escalas (com eventuais complementações), a caracterização regional do meio físico e a identificação de suas limitações e potencialidades frente às necessidades impostas pelo uso urbano do solo. Segundo Cerri *et al.* (1996), "trata-se de caracterizar a área de influência do meio físico geológico, em relação à ocupação urbana". Nesta etapa, conforme os autores, somente são justificadas as quantificações (restritas a aspectos mais gerais) quando viáveis frente aos objetivos e condições de execução dos trabalhos (CERRI, *et al.* 1996).

Na **etapa intermediária** os trabalhos correspondem ao detalhamento da caracterização do meio físico, realizada na etapa geral e a identificação dos eventuais problemas de natureza geológico-geotécnica, existentes na área de estudo, afim de fornecer subsídios diretos para o adequado planejamento e gestão do uso urbano do solo das áreas urbanizadas e com perspectivas de urbanização no médio prazo. Os trabalhos direcionam-se às necessidades mais prementes do desenvolvimento urbano local e preferencialmente contemplam a quantificação de parâmetros geológico-geotécnicos de interesse direto às ações de planejamento e gestão urbana (CERRI, *et al.* 1996).

Na **etapa de detalhe** Cerri *et al.* (1996) sugerem à execução de estudos geológico-geotécnicos temáticos específicos, com o intuito de subsidiar a elaboração de projetos de obras de engenharia para sanar os problemas detectados na fase anterior ou para a implantação de novos empreendimentos. Nesta etapa, segundo os autores, mostra-se indispensável a quantificação de parâmetros geológico-geotécnicos, com exceção, apenas, para os casos em que a capacitação técnica acumulada é suficiente à adequada elaboração de projetos de engenharia.

As informações do meio físico adequadas ao emprego do método do detalhamento progressivo são as mesmas previstas nas metodologias de mapeamento usualmente utilizadas no País, às quais devem ser somados os dados referentes ao uso do solo, aos processos geológicos naturais ou induzidos e às informações particulares aos estudos temáticos específicos das etapas de detalhe. Os parâmetros a serem determinados através de ensaios precisam ser diversificados e englobarem além dos índices físicos e relação textural, outros, como permeabilidade, resistência, entre outros. (CERRI, *et al.*, 1996).

### 3.6.4 Metodologia do LAMGEO (UFRGS/UFSC)

Desenvolvida por um grupo de pesquisa criado na UFRGS e, posteriormente, continuado na UFSC e apresentada por Dias (1995) como “Proposta de Metodologia de Definição de Carta Geotécnica Básica em Regiões Tropicais e Subtropicais”, a metodologia destina-se ao mapeamento de grandes áreas e tem como produto final um documento cartográfico, com a estimativa de unidades homogêneas sob o ponto de vista geotécnico (unidades geotécnicas). Segundo Dias (1995), tais unidades constituem-se em zonas de ocorrência de solo com perfis de origem e características físicas e morfológicas semelhantes e apresentam um comportamento geotécnico similar, frente ao uso e ocupação do solo.

As unidades geotécnicas são estimadas através da superposição de cartas geológicas, pedológicas e topográficas existentes e identificadas pela simbologia “XYZxyz”, onde as letras maiúsculas correspondem à classificação pedológica do perfil (considerando os horizontes superficiais A e B), e as letras minúsculas representam a geologia, caracterizada pelos horizontes C, RA, e R (Figura 3.3). Na classificação geológica é considerada a rocha dominante, sendo que, no caso de não haver uma litologia dominante no material do substrato, são adotadas as siglas das rochas presentes em letras minúsculas, separadas por vírgulas (DIAS, 1995). O mapa geotécnico é acompanhado de uma descrição dos perfis típicos existentes nas unidades, facilitando ao usuário a identificação do tipo de material a ser encontrado em cada unidade de mapeamento (VALENTE, 1999).

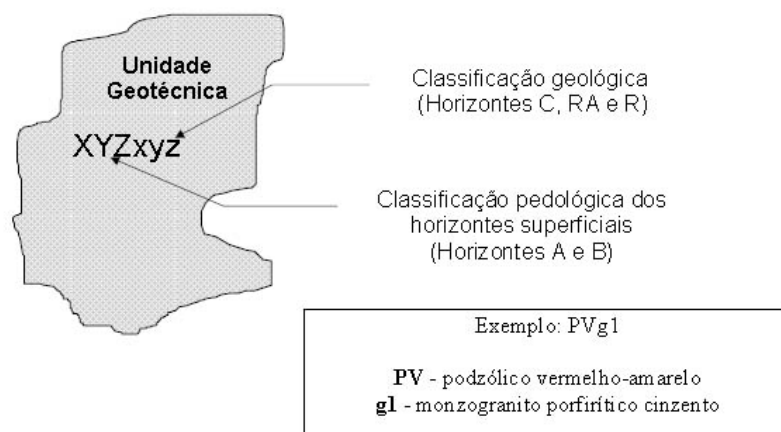


Figura 3.3: Simbologia para identificação das unidades geotécnicas (VALENTE, 1999 *apud* DIAS, 1999)

Dias (1995), considerando a possível falta de informações pedológicas para as zonas urbanas, propõe, como parte da metodologia, um estudo pedológico simplificado dirigido à geotecnia. A simplificação despreza a caracterização do horizonte A e dá mais ênfase aos

horizontes B e C, devido à maior importância destes em obras geotécnicas. Inicialmente, é feita uma análise dos levantamentos de solos, geológicos, topográficos e geomorfológicos, fotografias aéreas, imagens de satélite e as demais informações importantes da região para, a seguir, ser realizada uma estimativa preliminar das unidades geotécnicas. Por fim, é realizado um intenso trabalho de campo de reconhecimento de perfis e revisão dos limites cartográficos estabelecidos previamente. Conforme Dias (1995), a partir do mapeamento geotécnico proposto, é possível estimar as características geotécnicas necessárias ao uso e ocupação do solo. Afirma a autora que, baseados no mapeamento e na determinação das características geotécnicas, podem ser definidas as cartas temáticas para as diferentes aplicações. Como exemplos da utilização da metodologia da UFRGS-UFSC citam-se os seguintes trabalhos desenvolvidos principalmente no sul do País:

- a) Bastos, C. (1991) apresentou a carta geotécnica para o município de Porto Alegre, identificando, por ensaios de laboratório, o comportamento geotécnico dos solos de unidades geotécnicas com substrato granítico;
- b) Santos, T. *et al.* (1996) trabalharam com o mapeamento geotécnico na avaliação do comportamento mecânico dos solos de Florianópolis (SC), com o objetivo de estabelecer diretrizes para ocupação do solo e a orientação para soluções de problemas geotécnicos em obras de Engenharia de baixo custo;
- c) Bastos, C. & Alves (1996) procederam o mapeamento geotécnico da Planície Sul do Rio Grande do Sul, visando a fornecer subsídios ao macro planejamento do uso e ocupação regional e para anteprojetos de obras de engenharia;
- d) Dias (1996) realizou o mapeamento geotécnico da região metropolitana de Porto Alegre (RS), com vistas ao planejamento do uso e ocupação do solo;
- e) Bastos, C. *et al.* (1998) executaram a carta geotécnica de Porto Alegre (RS), para o Atlas Ambiental daquela cidade;
- f) Dias *et al.* (1996) realizaram o mapeamento das unidades geotécnicas da Bacia do Itacorubi, em Florianópolis (SC). O mapeamento finalizava fornecer um diagnóstico preliminar sob o ponto de vista de obras de Engenharia e da ocupação urbana;
- g) Valente (1999) elaborou o mapa geotécnico da zona urbana de Porto Alegre (RS), integrando dados através de geoprocessamento, bem como realizou a análise do meio físico da cidade e suas interações com a mancha urbana;

- h) Higashi (2006) concebeu o mapa de unidades geotécnicas do município de Tubarão (SC), objetivando o desenvolvimento de uma metodologia para o uso e ocupação do solo em cidades costeiras brasileiras, com base no comportamento geotécnico e ambiental dos solos;
- i) Miranda (2008) efetuou o mapeamento de unidades geotécnicas e o desenvolvimento de um sistema de informações geográficas para a área de abrangência da Rodovia BR-101 (RS).

### 3.6.5 Metodologia de Diniz e Freitas (2013) adotada pelo Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas e Planícies GEGEP/DECivil da UFPE.

Por meio de uma cooperação técnica entre o Ministério das Cidades e a Universidade Federal do Pernambuco/GEGEP (Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas e Planícies), um grupo de trabalho formado pelo GEGEP elaborou um Documento Técnico básico, buscando a definição de parâmetros para cartografia geológico-geotécnica e de diretrizes para intervenção em áreas sujeitas a desastres naturais. Os objetivos principais do documento são a definição de conceitos, metodologias e procedimentos para a elaboração de cartografia geotécnica de aptidão à urbanização, com vistas a subsidiar o planejamento urbano e os processos de aprovação de parcelamentos do solo (COUTINHO *et al.*, 2013). O capítulo do documento dedicado à cartografia geotécnica foi coordenado por Noriz Diniz e Carlos Geraldo Freitas e, em sua essência, reflete os trabalhos anteriores desses autores.

Segundo Diniz & Freitas (2013), na elaboração da carta geotécnica, a delimitação das unidades do terreno precisa considerar as diferenças de atributos ou parâmetros do meio ambiente que induzem ou condicionam os processos e fenômenos responsáveis pela dinâmica da crosta terrestre. Sua abordagem deve envolver conjuntamente aspectos dos meios físico, biótico e antrópico. O meio físico condiciona as características dos meios biótico e socioeconômico, os quais, em um regime de retroalimentação, alteram os processos naturais do meio físico. Dos condicionantes do meio físico e das alterações provocadas pela ação antrópica devem ser extraídos os atributos relevantes para a elaboração das cartas geotécnicas (DINIZ & FREITAS, 2013). As cartas geotécnicas identificam os problemas instalados e os de potencial ocorrência na área de interesse, sempre conectados aos objetivos específicos de determinada solicitação. Tais problemas resultam da suscetibilidade dos terrenos ao desenvolvimento de processos geodinâmicos e, desta forma, a análise da suscetibilidade deve estar presente em todas as cartas



geotécnicas, mudando-se apenas o método, o qual deve ser ajustado aos objetivos específicos do trabalho de cartografia em desenvolvimento (DINIZ & FREITAS, 2013). Apoiados nas propostas de Prandini *et al.* (1995), Diniz & Freitas (2013) indicam a aplicação de seguintes procedimentos básicos para elaboração de uma carta geotécnica (Tabela 3.9)

Tabela 3.9: Procedimentos básicos para elaboração de uma carta geotécnica

ORDEM	PROCEDIMENTO
I	Formulação de um modelo inicial orientador, que identifique objetivamente os recursos e os problemas existentes;
II	Análise fenomenológica e de desempenho que identifique as causas do desenvolvimento dos processos e problemas geodinâmicos previamente detectados e estabeleça as características (atributos) do meio físico de interesses para o uso e ocupação do solo;
III	Mapeamento e compartimentação das principais evidências dos atributos de interesse. Fixação dos critérios de correlação, extrapolação e interpolação das diferentes áreas do conhecimento envolvidas;
IV	Coleta, análise, organização e mapeamento orientado de informações relativas aos atributos de interesse. Reconhecimento e mapeamento através do uso de sensoriamento remoto, levantamento de campo, investigações laboratoriais e <i>in situ</i> ;
V	Compartimentações homogêneas: de problemas, conforme a probabilidade de ocorrência; das características de interesse; da aptidão a determinadas formas de uso e ocupação do solo;
VI	Representação dos resultados.

(Fonte: Diniz & Freitas, 2013).

Segundo Diniz & Freitas (2013), a elaboração das cartas geotécnicas tem como ponto de partida o inventário de dados. Em um segundo momento realizam-se os levantamentos, as investigações e as análises dos dados, objetivando a identificação dos problemas existentes e previstos, decorrentes da interação entre os meios físico, biótico e antrópico. Por fim, efetivam-se a síntese e proposta às alternativas para solução dos problemas instalados e prevenção dos problemas potenciais. A Figura 3.4 ilustra essas três fases do mapeamento. Os autores consideram fundamental a organização dos dados em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), de forma a facilitar e agilizar a representação, recuperação e atualização das informações geotécnicas produzidas. Ainda, segundo os mesmos, é condição básica a elaboração da carta geotécnica a existência (ou produção) de bases cartográficas digitais, ortofotos aéreas ou imagens de alta resolução, Modelo Digital de Terreno (MDT) e Modelo Digital de Elevação (MDE), com resoluções compatíveis com as escalas definidas para o mapeamento.

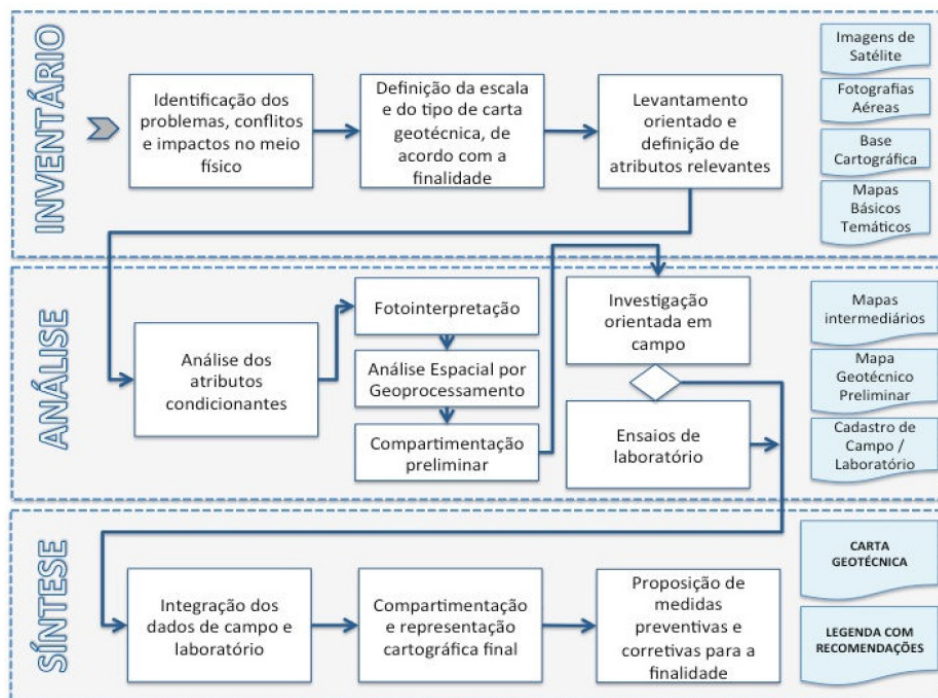


Figura 3.4: Fases da cartografia geotécnica (DINIZ & FREITAS, 2013)

A metodologia de Diniz e Freitas (2013) adota o Sistema de Terrenos como método de compartimentação das unidades homogêneas e baseia-se na compartimentação de formas de terrenos, caracterizando unidades destes (DINIZ, 2012). As unidades de terreno compõem uma associação natural de características dos terrenos, tais como a geologia, a geomorfologia, os solos, entre outros, e são estabelecidas através de mapeamentos existentes (DINIZ, 2012). Diferentes critérios podem ser utilizados na definição das unidades de terreno. Meijerink (1998 *apud* DINIZ, 2012) cita, por exemplo, as classificações baseadas em análises geomorfológicas, paramétricas ou geomorfométricas, fisiográficas ou de síntese geomorfológicas, biogeográficas e lito-geológicas. Para Lollo (1996), a avaliação de terreno pode dar-se através de duas abordagens: (i) fisiográfica ou de paisagem, a qual permite a compartimentação homogênea dos terrenos, através da delimitação das diferentes feições do relevo; (ii) paramétrica, a qual se baseia no uso de medidas geométricas das formas de terreno, tais como: declividade, amplitude e parâmetros métricos da rede de drenagem.

Segundo Diniz & Freitas (2013), o modelo de compartimentação necessita ser elaborado por meio de um sistema hierárquico de classificação de terrenos, em conformidade com o grau de suscetibilidade aos processos geodinâmicos predominantes na área de estudo e ter, por base, os atributos da forma de relevo que caracterizam unidades de terrenos. Os autores recomendam a metodologia de classificação proposta por Ross (1992), a qual estabelece seis níveis taxonômicos decrescentes.: As informações correspondentes ao 3º táxon e alguns dados do 4º táxon (parâmetros morfométricos), são utilizadas na elaboração das

cartas voltadas ao planejamento urbano, em escala 1:25.000 (cartas de suscetibilidade), e as informações dos 4º, 5º e 6º táxon são utilizadas para confecção das cartas de aptidão à urbanização (cartas de aptidão urbanística para parcelamento de solo, conforme os autores) (DINIZ & FREITAS, 2013). A Tabela 3.10 apresenta a síntese de procedimentos gerais para elaboração de cartas geotécnicas de acordo com a metodologia de Diniz & Freitas (2013).

Tabela 3.10: Síntese de procedimentos gerais para elaboração de cartas geotécnicas, de acordo com a metodologia do GEGEP

TIPOS DE CARTA GEOTÉCNICA	INFORMAÇÕES BÁSICAS
CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO APLICADA AO PLANO DIRETOR (ESCALA 1:25.000)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zoneamento de unidades de terreno, baseado nos diferentes tipos e suscetibilidade a processos.</li> <li>• Adequabilidade da ocupação em cada unidade de terreno (zonas favoráveis, aceitáveis e desfavoráveis)</li> <li>• Proposta de ações relacionadas à ocupação, valores ambientais e subsídios gerais para a legislação municipal</li> <li>• Indicação de áreas que necessitam de detalhamento, para avaliação geotécnica voltada à aptidão urbanística, devido a restrições a loteamentos, necessidades de obras de infraestrutura viária, saneamento e drenagem e riscos potenciais a desastres naturais.</li> </ul>
CARTAS GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO APLICADA AO PARCELAMENTO DO SOLO (ESCALA 1:10.000)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informações detalhadas para expansão urbana.</li> <li>• Normas para loteamentos em áreas de média suscetibilidade a processos, necessitando de estudos de avaliação geotécnica.</li> <li>• Avaliação de perigo em áreas ocupadas com riscos potenciais frente a desastres naturais.</li> </ul>
CARTAS DE RISCO (ESCALA: 1:5.000)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avaliação de susceptibilidade a processos.</li> <li>• Avaliação das condições de vulnerabilidade (grau de perda ou dano de um elemento ou conjunto de elementos associados a uma ameaça ou processo, com uma dada intensidade ou magnitude de ocorrência) das ocupações de risco.</li> <li>• Elaboração de sistema de gestão de risco com ações estruturais e não estruturais.</li> </ul>

(Fonte: Diniz & Freitas, 2013)

### 3.7 APLICABILIDADE DAS METODOLOGIAS TRADICIONAIS DE MAPEAMENTO AO AMBIENTE URBANO

As metodologias clássicas de mapeamento comentadas não incluem, explicitamente, em seus procedimentos, a diferenciação entre o ambiente urbano construído e não construído nos processos de mapeamento, ou seja, trata-os da mesma forma, tanto na obtenção dos atributos, quanto nos procedimentos de elaboração dos produtos cartográficos geotécnicos. Em geral, ambiente construído é tratado unicamente como fator antrópico de modificação do meio físico e/ou como condicionante de determinado problema geológico-geotécnico.

Cabe destacar algumas questões referentes ao mapeamento de áreas urbanas que não são respondidas: (i) como proceder a classificação em Sistema de Terrenos (que fundamenta diversas metodologias), baseado no reconhecimento e delimitação de geoformas, a partir de fotointerpretação e trabalho de campo, nos casos de áreas urbanas densas e de grandes extensões, onde as formas do relevo estão alteradas, edificadas ou pavimentadas?; (ii) por que despender esforços e custos com a produção de mapas e cartas para áreas de ocupação consolidada e sem registros de ocorrência de processos geodinâmicos e/ou problemas geotécnicos significativos?; (iii) os produtos cartográficos voltados ao uso e ocupação do solo como, por exemplo, a carta de aptidão à urbanização, devem ser produzidos para toda a área urbana, independente do grau de utilização?

Embora o objetivo preponderante da cartografia geotécnica seja dar suporte ao planejamento e à gestão do uso e ocupação do solo, as metodologias de mapeamento, em sua maioria, não incorporam a análise sobre a morfologia urbana e sua dinâmica de transformação, como parte necessária ao processo de mapeamento geotécnico da cidade. Neste sentido, há pertinência de uma melhor delimitação prévia do objeto de estudo, neste caso, o ambiente urbano, e a incorporação, se necessário, de diferentes escalas de análise sobre ele. A metodologia de Cerri *et al.* (1996) aparenta ser um passo neste sentido quando os autores propõem que o desenvolvimento e o resultado da etapa de menor detalhe defina o objeto territorial da etapa seguinte (de maior escala). Por sua vez, o detalhamento progressivo, por ser uma metodologia aberta (visto que seus autores não detalham os procedimentos metodológicos de cada etapa), permite a incorporação, nas primeiras etapas, em diferentes escalas, de procedimentos de análise sobre o ambiente urbano (construído e não construído), de forma que esta auxilie na melhor delimitação do objeto da investigação progressiva.

### 3.8 GEOPROCESSAMENTO APLICADO À CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA

Os métodos e formas de processamento de dados geográficos, que envolvem desde a sua coleta e armazenamento, passando, entre outras operações, pelo gerenciamento, análises e transformações até a geração, sobreposição e cruzamento de mapas, sofreram profunda alteração em decorrência da utilização e da evolução da informática e dos recursos tecnológicos. Conforme Valente (1999), à medida que os diferentes sistemas de geoprocessamento manipulam informações espacialmente referenciadas, estes constituem-se em ferramentas adequadas às aplicações que envolvam a coleta, o processamento e a representação de dados acerca do meio físico, como o mapeamento geotécnico.

No Brasil, os primeiros relatos científicos a respeito do uso do geoprocessamento na cartografia geotécnica são do início da década de 1990. Souza & Gandolfi (1993) relatam que já naquela época o geoprocessamento era utilizado como apoio às seguintes fases do mapeamento geotécnico: elaboração da base cartográfica; apoio à interpretação de produtos de sensoriamento remoto; interpolação de dados pontuais; e na definição de regras de manipulação de cartas. Ainda, segundo os autores, um dos ganhos com o uso de técnicas de geoprocessamento em estudos geotécnicos é a possibilidade de armazenar, na forma de overlays, sobre uma única base cartográfica em uma mesma escala, informações existentes em diferentes escalas. O uso de Modelo Digital de Terreno, na obtenção de perfis de terrenos, imagens sintéticas e informações derivadas, como declividade aspecto, também é destacado por Souza & Gandolfi (1993). Valente (1999), em sua tese de doutoramento, propõe uma metodologia para integração de dados por meio de geoprocessamento visando a elaboração de mapas geotécnicos, análises sobre o meio físico e suas interações com a mancha urbana, a partir de uma aplicação, para Porto Alegre. Nesse estudo, o autor cita diversos outros trabalhos de cartografia geotécnica, com o uso de ferramentas e recursos de geoprocessamento desenvolvidos no Brasil, até aquela data.

Os estudos sobre a utilização dos recursos e ferramentas de geoprocessamento em diferentes etapas da cartografia geotécnica e geoambiental foram se intensificando a partir dos anos 2000, e inúmeros trabalhos abordando o assunto foram publicados nos anais dos dois principais eventos de cartografia geotécnica e geologia de engenharia do País (SBCGG e CBGE). Os trabalhos publicados nos eventos da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental mostram que as ferramentas e os recursos do geoprocessamento, em especial os Sistemas de Informações Geográficas, podem ser utilizadas em praticamente todas as etapas do mapeamento geotécnico. Desde o levantamento de campo, passando pela geração de dados básicos, cruzamento de temas e análise dos dados, até a produção dos mapas e cartas, o geoprocessamento tem sido largamente utilizado como ferramenta de armazenamento, processamento e plotagem dos dados.

Atualmente os sistemas de informações geográficas (**SIGs**) e outras ferramentas de geoprocessamento são utilizados largamente durante todo o processo de mapeamento e produção das cartas e mapas geotécnicos. Por consequência, são, muitas vezes, estruturados como etapa(s) dos métodos de mapeamento, o que se mostra racional pois, até certo ponto, condicionam-nos. Uma revisão detalhada das ferramentas, sistemas e conceitos relacionados ao geoprocessamento aplicado à cartografia geotécnica pode ser encontrada em Xavier (2010; 2016), sendo o último, o trabalho de qualificação da presente tese.

## Capítulo 4 METODOLOGIA

---

Conforme visto no capítulo 3, desde a aplicação adaptada de metodologias estrangeiras, até o desenvolvimento de procedimentos próprios às condições (tecnológicas, econômicas, institucionais, entre outros) e às características fisiográficas brasileiras, a cartografia geotécnica nacional é fértil em métodos de mapeamento. No entanto, a maior parte desses procedimentos possuem um caráter regional em relação aos exemplos de suas aplicações, sendo comum a adoção de metodologias apropriadas às características físicas e à disponibilidade de dados da região de estudo. De outro modo, existem diversos pontos e conceitos comuns entre as diferentes metodologias, o que permite a apropriação de concepções utilizadas em uma ou mais metodologias afim de aperfeiçoar e/ou ampliar o método regional.

Cabe assim, salientar que na definição dos procedimentos aplicados ao presente estudo, serão utilizados conceitos básicos das propostas metodológicas de diferentes pesquisadores, a saber: Cerri *et al.* (1996); Dias (1995); Diniz & Freitas (2013); Sobreira & Souza (2012); e Souza & Sobreira (2014) que, por sua vez, apropriaram-se de conceitos de outros métodos, tais como o da EESC e do IPT, citando apenas os nacionais. Aos métodos aplicados, agregam-se novos procedimentos, com o intuito de conformar uma estrutura metodológica apta à consecução dos objetivos estabelecidos para o trabalho.

Nesse capítulo, contemplar-se-á a estrutura metodológica como um todo, de forma ampla, e no decorrer do trabalho, serão abordados e agregados procedimentos relacionados a temas mais específicos. Isto posto, quando forem trabalhadas as questões relacionadas, por exemplo, à definição da suscetibilidade a inundações, haverá o acréscimo de métodos e modelos próprios ao assunto, os quais serão, neste tempo, esclarecidos e referenciados.

No que se refere à terminologia relacionada aos diferentes produtos da cartografia geotécnica, neste e nos capítulos subsequentes, serão utilizados os termos: "mapeamento geotécnico" ou mapeamento "geológico-geotécnico" para o processo geral de produção de cartas e mapas, que vai desde a coleta dos dados até a impressão (digital ou analógica) dos mesmos; "mapa" para os produtos cartográficos de diferentes temas, produzidos ao meio ou ao término do processo, desacompanhados da análise interpretativa de seus conteúdo e

"carta" para a representação cartográfica, devidamente acompanhada (no documento cartográfico ou em documento a parte) da interpretação de seu conteúdo.

#### 4.1 PRESSUPOSTOS BÁSICOS DA ESTRUTURA METODOLÓGICA

Na estruturação da metodologia de mapeamento foram adotados alguns pressupostos básicos que orientam o trabalho como um todo. Tais hipóteses e conjecturas foram abordadas no capítulo inicial do trabalho, mas como estas norteiam a metodologia, torna-se relevante sintetizá-las, conforme segue:

- a) O conhecimento científico nacional acumulado em cartografia geotécnica constitui-se em uma sólida base para a investigação e proposição de diferentes formas de mapeamento. Além do mais, a existência de pontos em comum entre as diferentes metodologias permite complementar o método regional (aquele que melhor se relaciona com as características físicas e com a disponibilidade de dados da região de aplicação), adequando-o ao desenvolvimento da metodologia aplicada;
- b) O planejamento urbano envolve análises e definições em diferentes escalas territoriais, que vão desde o espaço urbanizado e seus circundantes, até pequenas porções do território. O conhecimento de uma realidade física local, por sua vez, impõe a necessidade de prospecção de um cenário físico maior, visto que muitos processos locais articulam-se a processos regionais. Por conseguinte, quando o objetivo é subsidiar ações de planificação do território, mostra-se lógico o mapeamento progressivo do mesmo;
- c) Sendo o crescimento espacial urbano uma das principais causas dos problemas associados ao ambiente físico das cidades, direcionar-se as escalas de maior detalhe do método progressivo a áreas disponíveis e propensas à ocupação futura, apresenta-se como um processo racional e otimizado de mapeamento;
- d) A adoção de áreas disponíveis e propensas ao crescimento da cidade, como objeto territorial de mapeamento, recomenda a inclusão, no processo, da análise do crescimento com vistas à prospecção das áreas urbanas com maior probabilidade de ocupação, em um horizonte de tempo pré-determinado;
- e) As dificuldades financeiras e institucionais que fazem parte da realidade da quase totalidade dos municípios nacionais impõe a premência de redução nos

custos e simplificação nos processos de execução do mapeamento geotécnico. Determina, ainda, a utilização, em maior número possível, de dados e informações do meio físico pré-existent.

## 4.2 ABORDAGENS METODOLÓGICAS EM MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

Em geral, os métodos de mapeamento geotécnico agrupam-se em duas linhas de abordagem: analítica e sintética. Através da abordagem analítica, um fenômeno (ou problema) é estudado (ou resolvido) através da sua decomposição em parte ou elementos constitutivos os quais são analisados isoladamente sem, no entanto, deixar de considerar seus relacionamentos entre si e com o todo. Na abordagem sintética, ao contrário, o fenômeno (ou problema) é estudado (ou resolvido) através da união sistemática de seus elementos heterogêneos, partindo-se do simples ou geral, para chegar-se no complexo e particular.

Segundo Ross (1995), os procedimentos operacionais básicos utilizados na especialização de informações sobre o meio físico, ou possuem caráter de análise integrada (representada pela abordagem de Sistemas de Terrenos), ou caráter multitemático (relacionado com o levantamento de diversas informações temáticas, individualmente, para posterior integração). A primeira abordagem é de natureza analítico-sintética, enquanto a segunda caracteriza-se por ser analítica, inicialmente, e de síntese, em uma etapa posterior (VEDOVELLO & MATTOS, 1998). Na abordagem integrada (Sistema de Terrenos) o referencial de análise são os padrões ou unidades de paisagens, os quais permitem identificar diferentes unidades de terreno. As unidades de terreno são caracterizadas quanto às propriedades e características de seus elementos componentes, e avaliadas em termos de diagnósticos/prognósticos geoambientais. Na abordagem multitemática, por sua vez, são elaborados produtos cartográficos de diferentes temas os quais cruzados, diretamente ou em associações específicas (por vezes com atribuições de pesos aos atributos), resultam em um mapa de síntese final (VEDOVELLO & MATTOS, 1998).

Por conseguinte, a metodologia a seguir apresentada, como uma abordagem multitemática, de natureza analítico-sintética, na qual os dados trabalhados são integrados por meio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), o qual faz parte das ferramentas e recursos de processamento geográfico de dados utilizados na produção e representação dos mapas e das cartas geotécnicas.



## 4.3 MÉTODOS DE MAPEAMENTO

A seguir, são comentadas as principais metodologias que serviram de base à estruturação do método de mapeamento a ser empregado, as quais foram divididas em: método geral, método de definição das unidades geológico-geotécnicas, método de definição das unidades de relevo (geomorfológicas) e método aplicado à elaboração das cartas geotécnicas voltadas ao planejamento territorial urbano.

### 4.3.1 Método Geral

Como método geral de mapeamento, foi utilizado o detalhamento progressivo proposto por Cerri *et al.* (1996). O detalhamento progressivo foi escolhido por ser uma abordagem abrangente e sistêmica do território o qual se mostra adequada quando o objetivo é subsidiar ações de planejamento e ordenação do uso do solo. Como visto no item 3.7.3, o método estabelece o desenvolvimento do mapeamento geológico-geotécnico em três grandes etapas consecutivas, em níveis crescentes de escala e detalhamento, de modo que cada etapa determina os temas técnicos e os níveis de aprofundamento necessários ao desenvolvimento da etapa subsequente.

Sobreira & Souza (2012) sustentam que o detalhamento progressivo, em práticas de planejamento e ordenamento urbano, pode ser representado em seus níveis pela suscetibilidade (etapa geral), aptidão à urbanização (etapa intermediária) e risco (etapa de detalhe). A orientação dos autores será seguida para as duas primeiras etapas do método progressivo. O mapeamento de risco<sup>7</sup>, no entanto, é substancialmente mais oneroso e laboroso que os mapeamentos de suscetibilidade e aptidão, envolvendo uma série de prospecções e modelagens que não se mostram compatíveis com a metodologia proposta, a qual ambiciona uma melhor adequação à realidade financeira e instrumental da maioria dos municípios brasileiros. Diante disso, a etapa de detalhe do método progressivo não fará parte da presente metodologia, que se limitará a indicar áreas prioritárias para detalhamento futuro que, a despeito das indicações de Sobreira & Souza (2012), não necessita do

---

<sup>7</sup> O mapeamento de risco representa uma estimativa do dano ou perda potencial econômica, patrimonial ou humana associada a probabilidade, em um certo período de tempo, da ocorrência de um evento perigoso e potencialmente danoso (BRESSANI & COSTA, 2013).

enfoque do risco para ser aplicável ao planejamento urbano. É possível, por exemplo, direcioná-lo ao mapeamento do perigo (*hazard*) ou ao aumento quantitativo e qualitativo dos mapas e informações relacionadas a aptidão à urbanização.

Cerri *et al.* (1996), em sua proposta metodológica, não definiram o método utilizado para delimitação das unidades geológico-geotécnicas, assim como não especificaram as informações e prospecções necessárias às suas caracterizações e descrições. Sendo assim, a metodologia será complementada, neste ponto, pelo método do LAMGEO (UFRGS/UFSC), aqui chamado de método regional.

#### 4.3.2 Método de definição das unidades geológico-geotécnicas

Para definição e caracterização das unidades geológico-geotécnicas, ou simplesmente unidades geotécnicas, foi definida a utilização do método regional, qual seja, o método do LAMGEO (UFRGS/UFSC), apresentada por Dias (1995) como “Proposta de Metodologia de Definição de Carta Geotécnica Básica em Regiões Tropicais e Subtropicais”. O método foi escolhido em função da sua adequação às características fisiográficas da região de estudo, disponibilidade de dados básicos e exemplos de aplicações a diversas regiões do estado do Rio Grande do Sul. A proposta metodológica de Dias (1995), que tem por base a sobreposição e cruzamento de mapas e/ou cartas geológicas, pedológicas e topográficas (ou geomorfológicas) existentes, caracteriza-se por uma abordagem inicial analítica, que resulta em uma análise sintética final.

#### 4.3.3 Método de definição das unidades de relevo

A estreita relação da geologia e da pedologia com a geomorfologia e o clima, torna extremamente importante a correta definição, em escala compatível com as etapas do mapeamento, das diferentes classes de relevo. Neto (2003), afirma que as formas dos relevos têm debaixo de si os solos; portanto geomorfologia e pedologia mantêm relações diretas, assim como ambas mantêm com a geologia, que está debaixo. Para Daniels *et al.* (1971 *apud* TERAMOTO *et al.*, 2001), os estudos das relações entre solos, geologia e superfícies geomórficas são importantes para a compreensão da ocorrência dos solos na paisagem, permitindo a predição desta distribuição. Cunha & Silveira (1996) apontam que o solo, no seu conceito moderno, tem como forma de expressão o aspecto tridimensional, admitindo-se, assim, a multiplicidade de variações que podem ocorrer nas combinações das variáveis responsáveis pela sua formação (clima, rocha, tempo, organismos e relevo). Com

isto, somente o fator relevo, dada a sua variabilidade, quase que elimina a possibilidade de ocorrer, em uma determinada superfície, um solo com características constantes.

Visando à utilização do maior número possível de dados pré-existent, como forma de redução de custos e simplificação dos processos de mapeamento, a metodologia básica para definição das unidades de relevo constitui-se no cruzamento e análise, com base nos modelos numéricos de elevação ou de terreno e em imagens aéreas, dos mapas e informações geomorfológicas prospectadas para a área de estudo, complementadas, quando necessário, por levantamento de campo. O relevo será classificado segundo a metodologia proposta por Ross (1992), até o quarto nível taxonômico.

Complementariamente, para áreas onde, porventura, não existam informações disponíveis, ou para as quais as mesmas se mostrem insuficientes e/ou inconsistentes, poderá ser utilizada uma adaptação do método simplificado empregado por Galdino da Silva *et al.* (2015), na elaboração da carta geotécnica de aptidão à urbanização no município de São Bernardo do Campo, SP. Este, segundo os autores, é compatível com as orientações do Ministério das Cidades e considera os prazos de execução, o tamanho da área de estudo e a dificuldade na obtenção de dados fontes. Galdino da Silva *et al.* (2015) adotam os critérios e parâmetros de classificação utilizados por BITAR (2014), que, por sua vez, embasa-se nos trabalhos do IPT/Emplasa (1990 *apud* BITAR, 2014), Poinçano *et al.* (1981, *apud* BITAR, 2014) e Ross (1992).

#### 4.3.4 Métodos aplicados à elaboração das cartas geotécnicas voltadas ao planejamento territorial urbano

Seguindo as metodologias de Sobreira & Souza (2012), complementada pela metodologia de Diniz & Freitas (2013), serão elaborados dois produtos cartográficos, especificamente destinados ao planejamento territorial urbano: o mapa de suscetibilidade e a carta de aptidão à urbanização. O mapa de suscetibilidade corresponderá à etapa geral do método progressivo e, conforme Sobreira & Souza (2014), representa uma análise inicial do meio físico da região de estudo, sendo determinada, em geral, de forma qualitativa através dos fatores de predisposição à ocorrência do processo em estudo (BRESSANI e COSTA, 2013, FELL *et al.*, 2008). Além de objetivar uma compreensão abrangente sobre o meio físico de uma região, o mapa de suscetibilidade servirá de base para o mapeamento e análise geotécnica da etapa intermediária do mapeamento progressivo. Devido a seu caráter geral, a suscetibilidade será analisada preponderantemente por meio dos fatores predisponentes intrínsecos à natureza dos terrenos.

Por sua vez, a carta de aptidão à urbanização corresponderá a etapa intermediária do método progressivo e abrangerá as zonas urbanizadas e de expansão urbana, sendo as últimas previamente definidas por meio da simulação e análise do crescimento urbano. Assim como o mapa de suscetibilidade, sua consecução seguirá os procedimentos estabelecidos por Sobreira & Souza (2012) e Diniz & Freitas (2013). Além de objetivar o auxílio à definição de normas e políticas territoriais urbanas, a carta de aptidão terá como destino a orientação ao parcelamento do solo, pretendendo subsidiar a adequação deste às condições de suporte do meio físico (DINIZ & FREITAS, 2013).

#### 4.4 ETAPAS METODOLÓGICAS

O método de mapeamento proposto divide-se em cinco etapas, as quais se subdividem em outras tantas. São elas: inventário (primeira etapa); preparação dos dados (segunda etapa); etapa geral do método progressivo (terceira etapa); etapa de semi-detálhe do método progressivo (quarta etapa); análise geral dos dados produzidos (quinta etapa) (Figura 4.1).

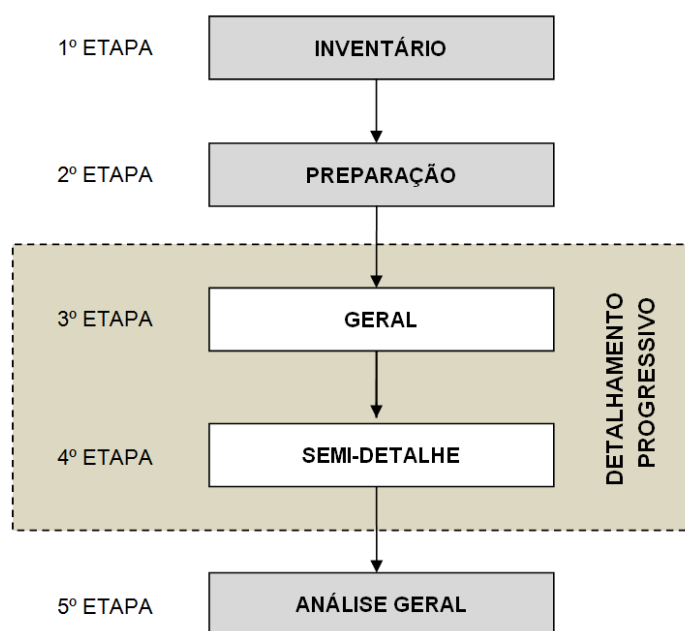


Figura 4.1: Seqüência geral de etapas para o mapeamento geotécnico da cidade de Pelotas

A aplicação do método pressupõe a existência de uma base mínima de informações a cerca do meio físico, sendo imprescindíveis, pelo menos, os seguintes dados básicos: (i) base cartográfica; (ii) mapa pedológico; (iii) mapa geológico; (iv) mapa geomorfológico; (v) modelo numérico de terreno ou dados altimétricos que permitam a sua produção; (vi) imagens aéreas (ortofotos ou imagens de satélite); (vii) dados de sondagem SPT; (viii) rede de

drenagem. Outros dados também se fazem indispensáveis, como, p. exemplo, a delimitação das bacias hidrográficas e a morfometria destas, mas estes podem ser obtidos através do processamento dos dados altimétricos. A inexistência das informações básicas determina as suas elaborações prévias, sendo necessário recorrer a metodologias específicas para tal. Também deve haver compatibilidade entre as escalas definidas para o mapeamento e a escala das informações básicas, sem o que, torna-se fundamental uma adequação das mesmas.

#### 4.4.1 Primeira etapa - Inventário

A etapa de inventário segue, com adaptações e ampliação, a proposta de Diniz & Freitas (2013), apresentada na Figura 3.4, subdividindo-se em: Etapa 1.1 - Caracterização inicial da área de estudo; Etapa 1.2 - Inventário complementar dos dados disponíveis; Etapa 1.3 - Identificação preliminar dos problemas, conflitos e impactos associados ao meio físico; Etapa 1.4 - Definição preliminar dos atributos relevantes; Etapa 1.5 - Definição das escalas de trabalho (Figura 4.2).

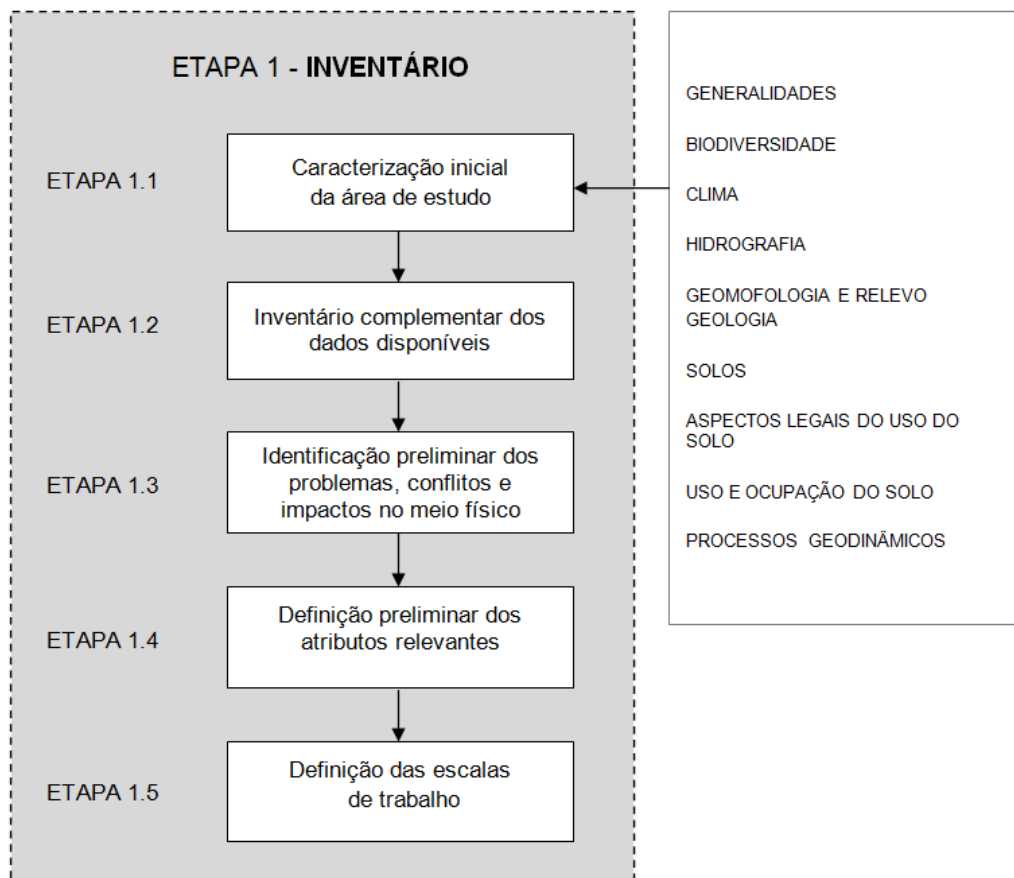


Figura 4.2: Sequência de procedimentos da etapa de inventário (primeira etapa)

A caracterização inicial da área de estudo objetiva um entendimento geral e abrangente de aspectos físicos, ambientais e institucionais importantes ao desenvolvimento do trabalho. Terá por base a literatura, o conhecimento empírico, imagens de satélite, ortofotos aéreas, bases cartográficas e mapas temáticos básicos. Além de aspectos mais gerais, tais como a demografia, as divisões político-administrativas, entre outros, a área de estudo deve ser caracterizada com base na biodiversidade, clima, hidrografia, geomorfologia e relevo, geologia e solos (materiais inconsolidados). Além de produzir um retrato geral da área, a caracterização inicial orienta a etapa de inventário.

Na etapa de "inventário complementar dos dados disponíveis" devem ser prospectados na literatura, órgãos públicos, universidades e institutos de pesquisas, empresas privadas, entre outros, todos os dados disponíveis e disponibilizáveis, ainda não levantados quando da caracterização da área de estudo, os quais devem passar por uma análise e classificação quanto ao conteúdo e à escala. Na etapa seguinte (terceira etapa), através de um levantamento orientado pela caracterização inicial, serão identificados, preliminarmente, os problemas, conflitos e impactos negativos<sup>8</sup> da ação humana sobre o meio físico.

Na quarta etapa, com base nas etapas anteriores, serão definidos os atributos relevantes<sup>9</sup> para o mapeamento geotécnico, podendo ser descartados dados prospectados e/ou definida a necessidade de prospecção e/ou produção de novas informações. Esta deve estabelecida sob a ótica da possibilidade, pois a mesma irá determinar, necessariamente, a revisão e adequação dos objetivos e/ou dos métodos.

Na última etapa, com base na análise dos dados inventariados, nos atributos relevantes e na indicação da literatura, serão definidas as escalas de compatibilidade dos mapas básicos e as escalas finais dos produtos cartográficos do mapeamento (mapas e cartas). Caso a análise dos dados indique a necessidade de melhoria na precisão cartográfica dos mapas básicos ou a melhoria na escala de informação, estas poderão ser feitas através do uso

---

<sup>8</sup> Os impactos antrópicos negativos sobre o meio físico, no contexto do presente trabalho, são aqueles reiteradamente indicados como tal nos trabalhos científicos de cartografia geotécnica, p. exemplo: erosões, escorregamentos, inundações, colapsos, entre outros.

<sup>9</sup> O termo "atributos relevantes" é utilizado nos trabalhos de Diniz (2012) e Diniz & Freitas (2013) e refere-se aos atributos do meio físico que devem ser considerados na elaboração de um determinado mapa ou uma carta geotécnica.

simultâneo de diferentes técnicas como, por exemplo: análise de imagens de satélite e de fotografias aéreas; análises tridimensionais, através da técnica de anagráficos; levantamentos de campo, com ou sem prospecções; uso de informações existentes, tais como sondagens de simples reconhecimento, perfurações de poços, entre outros procedimentos.

#### 4.4.2 Segunda etapa - Preparação.

A segunda etapa geral do método corresponde à preparação inicial dos dados. Nesta fase, os dados prospectados na etapa inicial serão analisados, processados e cruzados entre si, com vista à sua compatibilização espacial e escalar e a geração de dados derivados. Os dados espaciais gerados serão armazenados como Planos de Informações (PIs) e/ou tabelas em um Banco de Dados Geográfico compatível com os software(s) de SIG(s) utilizado(s). Na Figura 4.3 é apresentado o fluxograma esquemático da etapa.

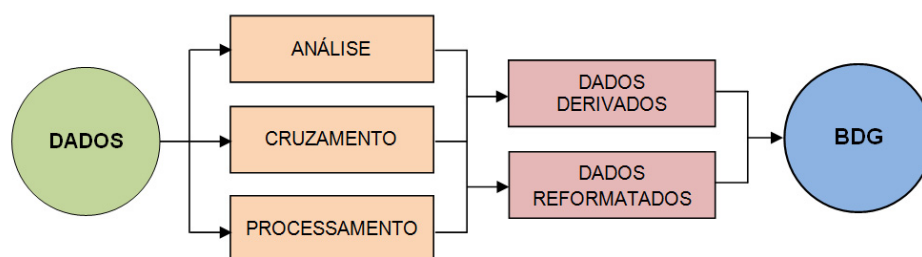


Figura 4.3: Esquema de desenvolvimento da 2º etapa do mapeamento

Devido à sua estreita relação com os demais temas de análise e à sua importância relativa nos trabalhos de mapeamento geotécnico, em especial nos países de clima tropical, as informações geomorfológicas constituem-se a principal base de integração dos demais dados (DINIZ, 2013). Salienta-se que a geração de dados relativos ao relevo (geomorfológicos) consiste na ação inicial da etapa de preparação de dados, seguindo, de um modo geral, o esquema apresentado na Figura 4.4.

Para o desenvolvimento do mapeamento geomorfológico, é fundamental a adoção ou elaboração de modelos digitais de terreno e/ou de elevação (MDT/MDE) compatíveis com a escala de cada uma das fases do mapeamento. Os modelos permitem tanto a extração de dados topográficos e morfométricos, fundamentais às análises associadas à rede de drenagem e ao relevo, quanto o ajuste e compatibilização cartográfica dos diferentes temas (planos de informações) entre si e com a geomorfologia. Desta forma, devem ser despendidos esforços na busca pelos melhores modelos disponíveis ou, sendo o caso, na elaboração de um novo modelo, com base em dados topográficos pré-existent.

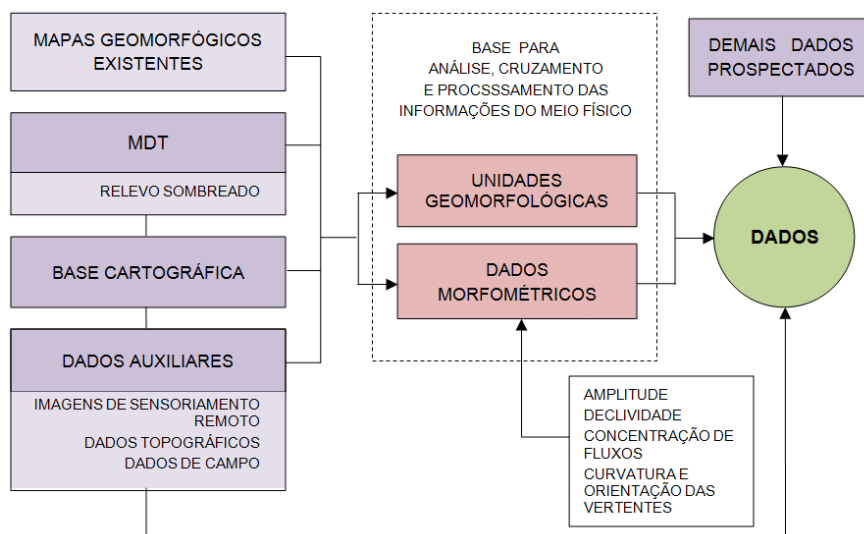


Figura 4.4: Procedimentos para elaboração do mapa de unidades geomorfológicas e dados morfométricos derivados do MDT (adaptado de Galdino da Silva *et al*, 2015).

#### 4.4.3 Terceira etapa - Etapa geral do método progressivo.

Seguindo a recomendação de Cerri *et al.* (1996), a etapa geral do método progressivo (etapa regional), terá, como área territorial de abrangência, "as áreas urbanizadas, com perspectivas de urbanização em médio prazo, e as adjacentes", com o objetivo de caracterizar a área de influência do meio físico em relação à ocupação urbana. Partindo-se da caracterização inicial da área de estudo, deve ser definido uma AOI (*area of interest*) através de um retângulo envolvente às áreas urbana, de expansão urbana e suas adjacências. Algumas análises como, por exemplo, aquelas associadas à rede hidrológica, possuem, como base territorial, áreas maiores que devem ser estudadas integralmente, embora possam, posteriormente, serem representadas parcialmente.

Nesta etapa, o detalhamento progressivo será representado pela suscetibilidade, ou seja, pela predisposição dos terrenos à ocorrência de processos geodinâmicos, a qual é representada por classes de possibilidade de ocorrência. Pela abordagem adotada, a suscetibilidade será analisada majoritariamente por meio dos condicionantes naturais predisponentes, ainda que a ação antrópica possa e deva ser considerada em algumas situações específicas, como no caso das feições relevantes do ténogeno que alteram, de forma determinante as feições naturais, como, por exemplo: uma barragem ou o desvio de um curso d'água; as alterações transitórias ou permanentes na cobertura do solo.

Os mapas de suscetibilidade serão elaborados com base em uma abordagem integrada dos diferentes aspectos do meio físico que condicionam o desenvolvimento dos processos geodinâmicos previamente detectados na primeira etapa do mapeamento. Embora o rol de



temas (atributos) a serem utilizados na elaboração dos mapas de suscetibilidade sejam definidos em função da disponibilidade de informações pré-existentes e possibilidade de geração de novas (etapa 1.5), devem ser realizados esforços na obtenção das seguintes informações básicas (adaptadas de Sobreira & Souza (2012) e Zuquette & Gandolfi (2004)): hidrografia (águas superficiais e subterrâneas), geomorfologia/morfometria, geologia estrutural, evidências de processos geológicos (incluindo histórico de eventos), solos (pedologia), cobertura do solo e clima.

Conforme asseveram Sobreira & Souza (2012), na integração dos dados cada um dos temas possui uma importância diferenciada em relação ao processo analisado, estando abertos à ponderação de valores ou índices para as diferentes unidades, sendo, por isso, usual a elaboração do mapa de suscetibilidade com base em análise multicritério. Também conhecida como árvore de decisões ou análise hierárquica de pesos, a análise multicritério se baseia no mapeamento de variáveis (atributos) por plano de informação e na definição do grau de pertinência (peso) dos planos e seus componentes de legenda, na construção do resultado final. A análise multicritério constitui-se em um sistema de suporte à decisão, cujo objetivo principal é promover a hierarquização das possibilidades ou alternativas à resolução de um determinado problema (VAZ *et al.*, 2011). Diferentes métodos têm sido utilizados para a integração de fatores com base na abordagem multicritério, dentre eles, o Método da Combinação Linear Ponderada, no qual os fatores são padronizados para uma escala numérica comum, recebem pesos e são combinados por meio de uma média ponderada (VOOGD, 1983), resultando em um mapa de prioridades que pode ser compartimentado em classes temáticas *fussy* (ESTEMAN, 2001). Conforme Torezan (2005), o método além de permitir reter toda a variabilidade dos dados contínuos, oferece a possibilidade dos parâmetros ambientais compensarem-se uns com os outros.

Por esses motivos, será adotada a análise multicritério por integração linear ponderada, como base para o cálculo dos diferentes graus de suscetibilidade dos terrenos. A ponderação de pesos das classes temáticas será realizada por "*data-driven evaluation*", a qual se refere ao conhecimento de situações semelhantes (MOURA, 2005), a ser alcançado por meio da análise prévia de trabalhos existentes. Como forma de reduzir a subjetividade associada à distribuição de pesos, problema inerente ao método, serão selecionadas porções do território onde o resultado do fenômeno analisado é conhecido (em sua maior e sua menor ocorrência). Sendo assim, o estudo das relações entre as variáveis e a definição de seus pesos serão validadas, em comparação ao comportamento dessas amostras.

Os dados serão integrados no SIG, ambiente no qual também serão realizados os cálculos de densidade e peso, estabelecidas as regras de decisão e efetuadas as operações algébricas de mapa. Para avaliação da contribuição dos temas na composição da suscetibilidade será aplicado o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), o qual permite organizar e avaliar a importância relativa entre critérios, mensurando a consistência dos julgamentos (CARDOSO, 2009). A suscetibilidade será calculada para os processos geológico-geotécnicos identificados na etapa de inventário. A Figura 4.5 mostra o esquema sequencial de procedimentos para elaboração dos mapas de suscetibilidade.

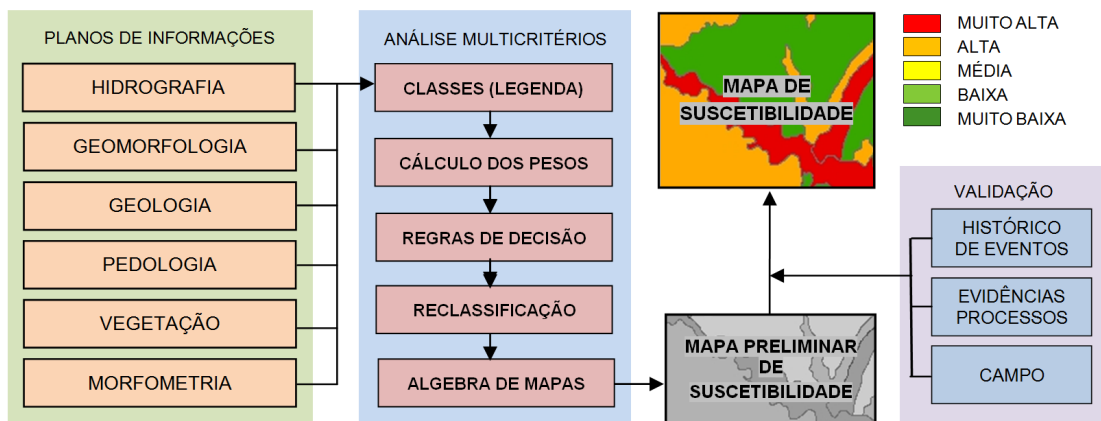


Figura 4.5: Sequência esquemática de procedimentos para elaboração dos mapas de suscetibilidades aos processos geodinâmicos

#### 4.4.4 Quarta etapa - Etapa intermediária do método progressivo.

Na quarta etapa, o detalhamento progressivo será representado por meio da aptidão dos terrenos à urbanização e a área territorial de aplicação corresponderá a porções da zona urbana e de expansão urbana (zonas definidas por lei como aptas ao uso urbano do solo) livres e com alta probabilidade de ocupação futura, em um horizonte de 25 anos. O corte temporal de 25 anos é adotado por ser superior ao lapso de tempo do planejamento de longo prazo estabelecido, em geral, nos planos estratégicos de desenvolvimento municipal e possibilitar o subsídio a, pelo menos, duas atualizações obrigatórias do plano diretor.

A elaboração da carta de aptidão geotécnica à urbanização toma por base o(s) mapa(s) de suscetibilidade(s) e os dados utilizados em sua elaboração (DINIZ & FREITAS, 2013), aumentando suas escalas espacial e de informação, pois em uma análise em maior escala, "nem toda extensão de uma área considerada adequada à ocupação está isenta de problemas de ordem geotécnica, assim como nem toda extensão de uma área inadequada quanto à suscetibilidade a processos representa situações críticas (...)" (SOBREIRA & SOUZA, 2012). Logo, o primeiro passo na elaboração da carta de aptidão consiste na

adequação da escala e conteúdo, para a área urbana e de expansão urbana, do(s) mapa(s) de suscetibilidade(s). A análise da aptidão à urbanização envolve aspectos relacionados ao território, que ultrapassam os utilizados na elaboração da carta de suscetibilidade como, por exemplo, a legislação urbanística e ambiental, as propriedades geotécnicas dos terrenos e os processos tecnológicos. Sendo assim, nesta etapa, o Banco de Dados Geográfico deve ser alimentado com novas informações acerca do território, mas, da mesma forma que a suscetibilidade, a definição do rol final de atributos a serem utilizados somente será definida após a caracterização inicial da área de estudo e a prospecção de dados, podendo haver supressão e/ou acréscimos de dados durante o próprio processo de mapeamento e análise.

A carta de aptidão à urbanização será voltada à definição do grau de adequabilidade geotécnica dos terrenos ao uso urbano do solo e envolverá, tanto as áreas já inicialmente ocupadas, mas não consolidadas, quanto às disponíveis à ocupação futura. No segundo caso, sustenta-se não haver necessidade da análise integral das áreas, visto que, em geral, uma parcela significativa destas possui baixa probabilidade de ocupação a longo prazo (até 25 anos), ou seja, é possível a redução das áreas de mapeamento da aptidão com base em uma análise prévia dos vazios urbanos e da dinâmica de crescimento local. Neste sentido, Batista *et al.* (2015), assertando sobre a metodologia de elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização apoiada pelo Ministério das Cidades (COUTINHO, 2013), asseveram que a definição da área de estudo deve partir das área(s) urbana(s) ou de expansão urbana, excluídas as áreas de conservação com restrição total à ocupação urbana e adotadas as áreas de intervenção ou os vetores reais de expansão da cidade.

Isto posto, a pré-análise dos vazios urbanos e a modelagem e simulação do crescimento urbano da cidade compõem a presente etapa. Com a adoção desses procedimentos, pretende-se: (i) reduzir e otimizar os esforços de mapeamento, atendendo a um dos objetivos do trabalho; (ii) contribuir com a delimitação territorial para, seguindo o método progressivo, elaborar mapeamentos futuros em escala de detalhe.

A carta geotécnica de aptidão à urbanização deverá delimitar unidades territoriais de: (i) **muito alta e alta aptidão**, as quais correspondem às áreas sem restrições à urbanização ou já consolidadas do ponto de vista geológico-geotécnico, onde o município poderá liberar o parcelamento e a ocupação permanente do solo; (ii) **moderada aptidão**, correspondendo às áreas que possuem uma ou mais restrições geotécnicas, mas que podem ser parceladas e ocupadas, segundo determinados critérios técnicos e diretrizes e; (iii) **baixa aptidão**, as quais correspondem às áreas com restrições geotécnicas de maior gravidade, as quais somente poderão serem ocupadas e/ou consolidadas do ponto de vista geotécnico,

mediante a adoção de medidas estruturantes por parte da municipalidade e dos empreendedores; (iv)  **muito baixa aptidão**, correspondendo às áreas com severas restrições à ocupação e/ou não consolidáveis do ponto de vista geológico-geotécnico e para as quais são recomendados outros tipos de uso, em função do alto custo de urbanização (SOUZA & SOBREIRA, 2014) e do risco associado.

Assim como na carta de suscetibilidade, a carta de aptidão à urbanização será elaborada com base em análise multicritério, atribuindo-se por "*data-driven evaluation*" diferentes pesos às diferentes classes de um tema, os quais serão validados através de amostras de comportamento conhecido. Logo após, com o auxílio do *Analytic Hierarchy Process* (AHP), será definida a contribuição relativa de cada tema, os quais serão reclassificados e algebricamente integrados em ambiente SIG. Desta forma, a elaboração da carta de aptidão geotécnica à urbanização seguirá o esquema geral apresentado na Figura 4.6.

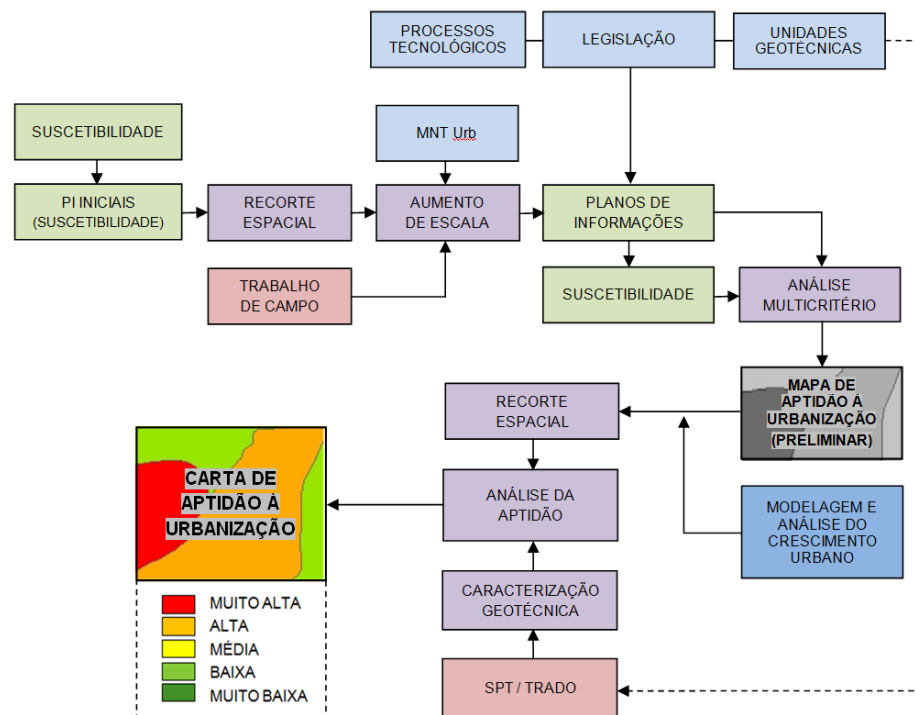


Figura 4.6: Esquema de elaboração da carta de aptidão à urbanização

Conforme o esquema apresentado (Figura 4.6), os planos de informações utilizados na elaboração da(s) suscetibilidade(s) deverão passar por um recorte espacial (para a área urbana e de expansão urbana) e um aumento de escala (espacial e de informações). Para tanto, é fundamental a adoção e/ou elaboração de um modelo de terreno compatível com a escala da aptidão, que, junto com trabalhos de campo (quando necessário), auxiliará no incremento de escala. Logo após, os planos serão novamente cruzados e a(s) suscetibilidade(s) regeradas na escala adequada. No passo seguinte, novos planos de

informações, em escala e extensão adequadas, deverão ser adicionados ao Banco de Dados Geográfico. Entre os novos planos de informações, destaca-se o das unidades geotécnicas, as quais serão mapeadas através da metodologia do LAMGEO UFRGS/UFSC, seguindo o esquema apresentado na Figura 4.7.

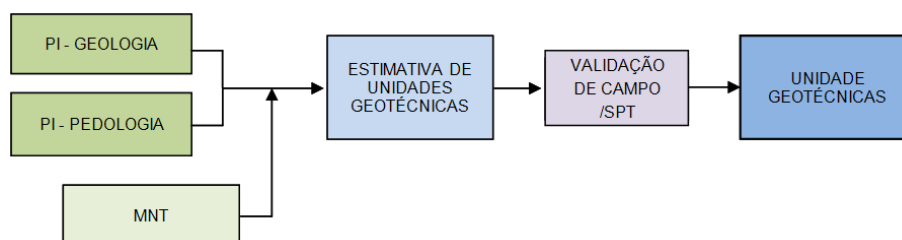


Figura 4.7: Esquema de elaboração do mapa de estimativa de unidades geotécnicas conforme a metodologia do LAMGEO UFRGS/UFSC

Por meio do cruzamento da(s) suscetibilidade(s), representada(s) na mesma escala da aptidão e que Batista *et al.* (2015), chamam de suscetibilidade de detalhe, com o plano de informação referente às unidade geotécnicas, e com outros planos que se mostrarem pertinentes, tendo a análise multicritério como base de ponderação de pesos, será gerado o mapa preliminar de aptidão à urbanização. Após a elaboração do mapa preliminar de aptidão à urbanização, operar-se-á a análise do crescimento urbano, por meio do mapeamento dos vazios e da simulação do crescimento espacial da cidade. Esta análise constituirá a base para um novo recorte espacial, com exclusão das áreas de urbanização consolidadas e impedidas. Por fim, será realizada a análise e caracterização da aptidão dos terrenos à urbanização, a qual será orientada aos vazios urbanos e ao crescimento projetado.

#### 4.4.5 Quinta etapa - Análise Geral.

Na última etapa, chamada de análise geral, o resultado do processo de mapeamento (mapa(s) de suscetibilidade(s) e carta de aptidão) será confrontado com o regramento urbanístico e ambiental, pretérito e atual, da área de estudo, em especial os planos diretores e ambiental. O objetivo é, a partir da análise crítica da legislação e do crescimento urbano local, determinar a validade e a capacidade dos resultados em subsidiar ações de planejamento que resultem em normas as quais possam conduzir a um uso e ocupação sustentável e adequados do território urbano, frente às suas características físicas e ambientais.

Na Figura 4.8 é apresentado um fluxograma esquemático e simplificado das etapas de desenvolvimento da metodologia.

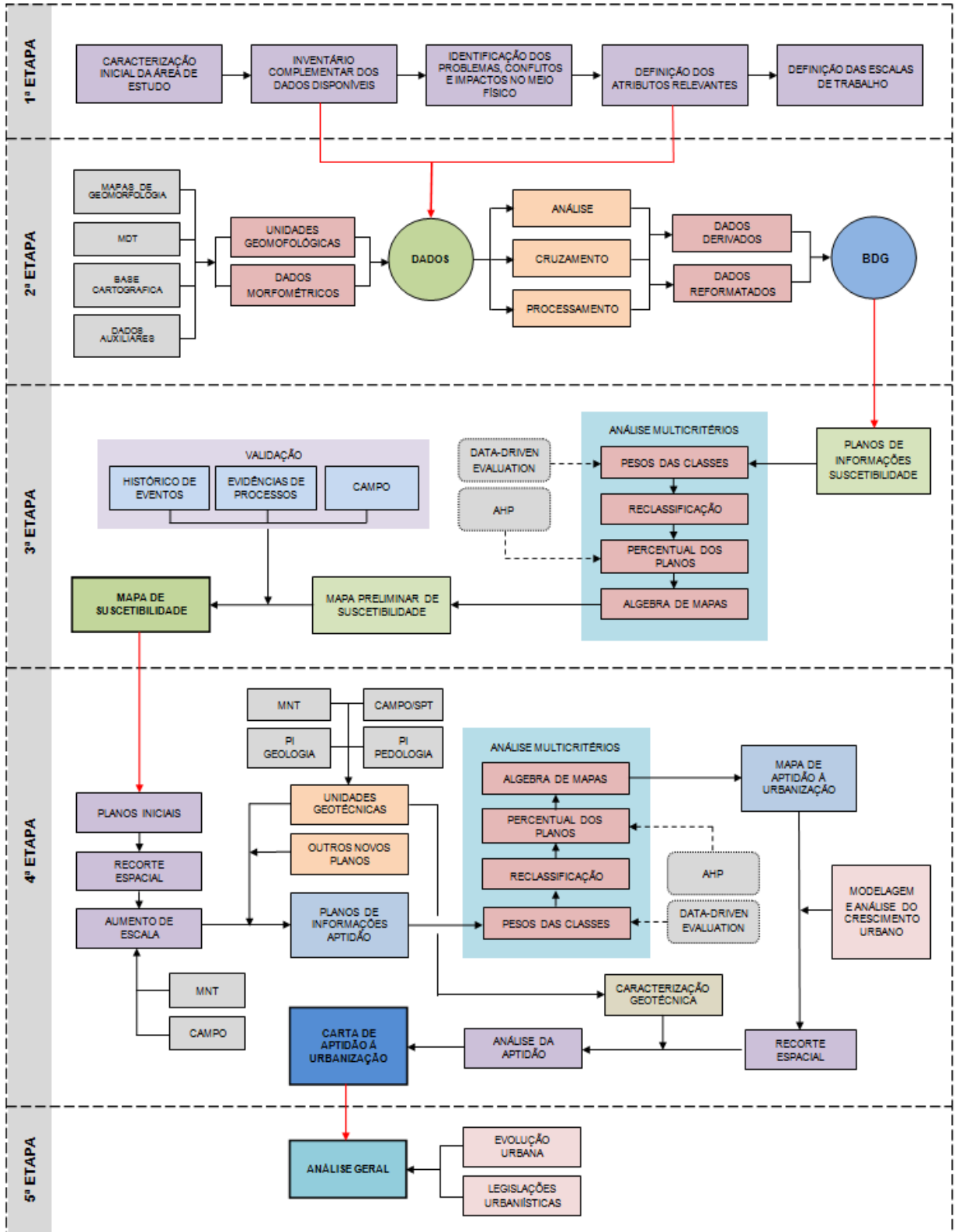


Figura 4.8 - Fluxograma esquemático simplificado das etapas do método de mapeamento

## Capítulo 5 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA - ETAPA 1: INVENTÁRIO

---

O presente capítulo constitui-se na primeira etapa de aplicação do método de mapeamento: a **etapa de inventário**. No capítulo, será feita a caracterização inicial da área de estudo; tratado sobre o inventário complementar dos dados disponíveis; identificados, preliminarmente, os problemas, conflitos e impactos negativos da ação antrópica sobre o meio físico; e definidas as escalas de compatibilidade dos mapas básicos dos produtos finais (mapas e cartas).

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO INICIAL DA ÁREA DE ESTUDO

Buscando um entendimento geral e abrangente dos aspectos físicos e ambientais da área de estudo, de forma a orientar o trabalho como um todo e, mais especificamente, as próximas etapas do inventário, realizar-se-á, a seguir, uma caracterização inicial da área de estudo na qual, além de aspectos gerais, serão abordados os atributos referentes à/ao: biodiversidade; clima; hidrografia; geomorfologia e relevo; geologia; solos; e aos problemas geológico-geotécnicos ocorrentes.

#### 5.1.1 Generalidades

Pelotas é o terceiro município mais populoso do Estado do Rio Grande do Sul. Situa-se na Zona Sul do estado, geograficamente no quadrilátero de coordenadas 31° 19' S; 31° 48' de latitude Sul e 52° 36'; 52° 00' de longitude Oeste. Sua população estimada é de 342.053 habitantes (IBGE, 2014), com uma densidade demográfica urbana de 1.781 hab/km<sup>2</sup> e rural de 15,6 hab/km<sup>2</sup>. Segundo os dados do IBGE, de 1970 a 2010, a população rural de Pelotas decresceu 58,36% e a urbana cresceu 57,92%, atingido um índice de urbanização de 93,27% (Tabela 5.1).

Tabela 5.1: Evolução populacional do município de Pelotas entre os anos de 1970 e 2010.

	1970	1980	1990	2000	2010
RURAL	53.042	55.147	53.942	22.077	22.082
URBANA	154.827	204.803	230.009	301.081	306.193
TOTAL	207.869	259.950	283.951	323.158	328.275
ÍNDICE DE URBANIZAÇÃO	74,48%	78,79%	81,00%	93,17%	93,27%

(Fonte: IBGE, 2010)

O município é dividido, territorial e politicamente, em nove distritos: Z3, Monte Bonito, Cascata, Cerrito, Quilombo, Rincão da Cruz, Triunfo, Santa Silvana e Distrito Sede, que perfazem uma área territorial de 1.609 km<sup>2</sup>. O Distrito Sede, o qual legalmente corresponde à zona urbana do município, possui 192 km<sup>2</sup> (Figura 5.1).

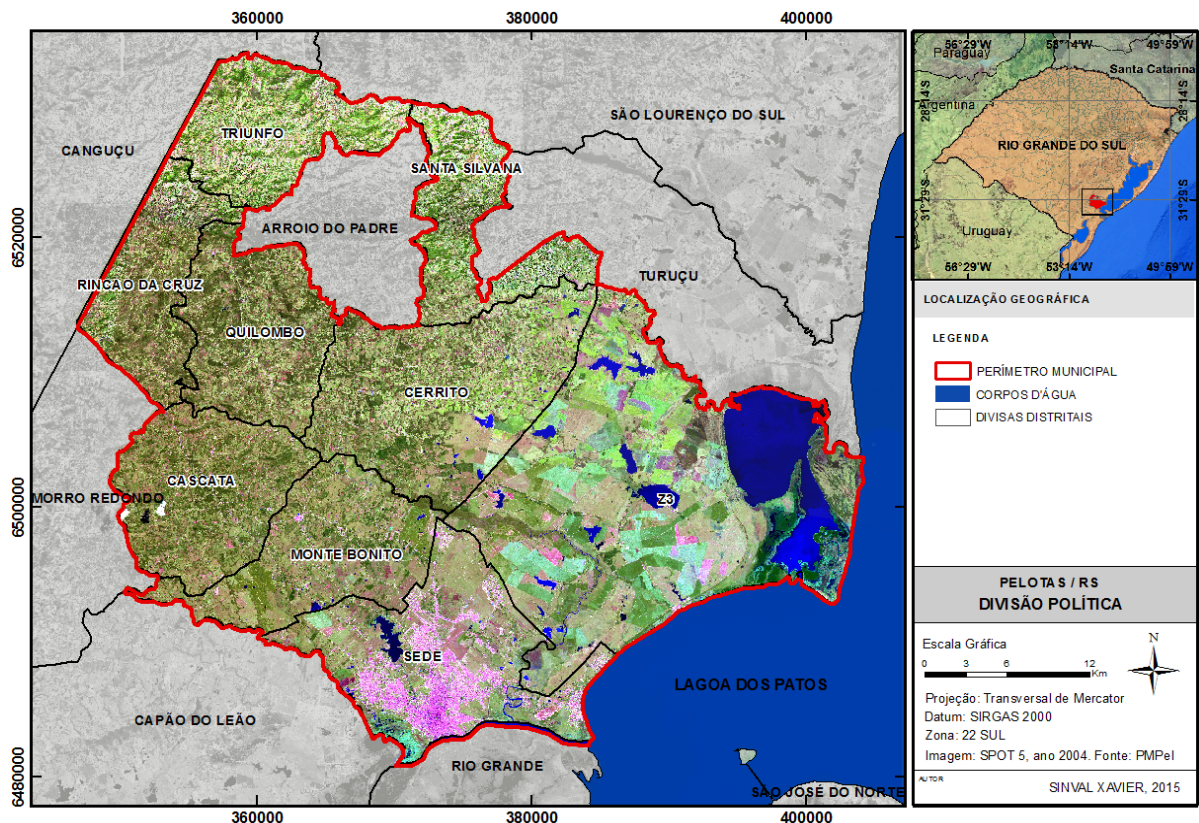


Figura 5.1: Mapa da divisão política do município de Pelotas

Segundo Xavier (2010), a história do município começa em junho de 1758, por meio da doação que Gomes Freire de Andrade fez ao Coronel Thomaz Luiz Osório, de terras que ficavam às margens da Lagoa dos Patos. Posteriormente, em 1763, fugindo da invasão espanhola, muitos habitantes da Vila de Rio Grande buscaram refúgio nas terras de Thomaz



Luiz Osório. Mais tarde, em 1777, vieram também os retirantes da Colônia do Sacramento, entregue pelos portugueses aos espanhóis. Por iniciativa do cearense José Pinto Martins, foi instalada, em 1780, às margens do Arroio Pelotas, a primeira charqueada do Estado (PMPel, 2015). Essa paleoindústria trouxe o desenvolvimento para a região e a prosperidade gerada por ela levou outros comerciantes a estabelecerem mais charqueadas nas margens do Arroio Pelotas e do Canal São Gonçalo (PMPel, 2015). A ligação com os cursos d'água e a consequente facilidade na exportação das produções, segundo diversos historiadores, foram os motivos do progresso das charqueadas pelotenses, em relação às demais charqueadas do Estado (PMPel, 2015).

Com o desenvolvimento do povoado foi fundada, em 1812, a Freguesia de São Francisco de Paula, a qual foi desmembrada de São Pedro do Rio Grande (PMPel, 2015). Em virtude do progresso verificado, a freguesia foi elevada à categoria de Vila, em 1830. Finalmente, a vila de São Francisco de Paula foi elevada à categoria de cidade, pela Lei Provincial n.º 5, de 27 de junho de 1835, alterando sua denominação para Pelotas, nome que faz referência às embarcações de varas de corticeira forradas de couro, usadas para a travessia dos rios na época das charqueadas (PMPel, 2015).

### 5.1.2 Biodiversidade

Ao se considerar a biorregião como o espaço geográfico que abriga integralmente um ou vários ecossistemas, a de Pelotas está inserida em duas regiões geomorfológicas e fitoecológicas bem distintas e com características próprias, nas quais os ecossistemas apresentam íntima relação com as características estruturais, tectônicas e estratigráficas do meio físico: a **planície costeira** e o **escudo cristalino** (SANTOS DA SILVA, 2007). A zona urbana do município, situada na planície costeira, está associada a um vasto complexo lagunar, onde se desenvolveu o ecossistema/bioma de restinga ou a formação denominada Áreas de Formação Pioneira (SANTOS DA SILVA, 2007). Por sua vez, a zona rural do município está inserida no escudo, na porção correspondente à Serra do Sudeste, região pertence ao domínio morfoestrutural dos embasamentos, o qual se refere aos grandes maciços de rochas cristalinas do período pré-cambriano (SANTOS DA SILVA, 2007). O bioma de restinga é constituído por um conjunto de vegetação heterogênea, formada por complexos mosaicos de comunidades vegetais, quer herbáceas, arbustivas, arbóreas e epifíticas, que compõem os principais ecossistemas formadores da restinga litorânea: matas de restinga arenosa, matas de restinga paludosas, banhados, campos arenosos secos e campos arenosos úmidos (SANTOS DA SILVA, 2007).

### 5.1.3 Clima

O clima de Pelotas é subtropical úmido, sem estação seca, com inverno fresco e verão suave (ROSA, 1985). Devido à sua localização litorânea, recebe, principalmente, ventos do quadrante leste; o clima da cidade apresenta forte influência marítima, que se manifesta na elevada umidade atmosférica e na suavização da temperatura, tanto no inverno, quanto no verão (ROSA, 1985). A temperatura média anual da área urbana do município é de 17,5°C. Janeiro é o mês mais quente, com temperatura média de 23°C, e julho o mês mais frio, com média de 12°C. A amplitude térmica diária, em geral, é moderada, ficando entre 8 e 9°C (SANTOS DA SILVA, 2007). A precipitação média anual, medida entre os anos 1991 e 2014, foi de 1.443,13 mm, com chuvas regularmente distribuídas durante todo o ano (Figura 5.2). A quantidade de chuva aumenta para o interior do município e na direção norte. Segundo Santos da Silva (2007), as precipitações mais reduzidas na área costeira devem-se às influências estabilizadoras das baixas temperaturas marítimas. No interior do município, o relevo com maiores altitudes, ao reter os ventos úmidos do oceano, provoca turbulência do ar e um maior índice de chuvas.

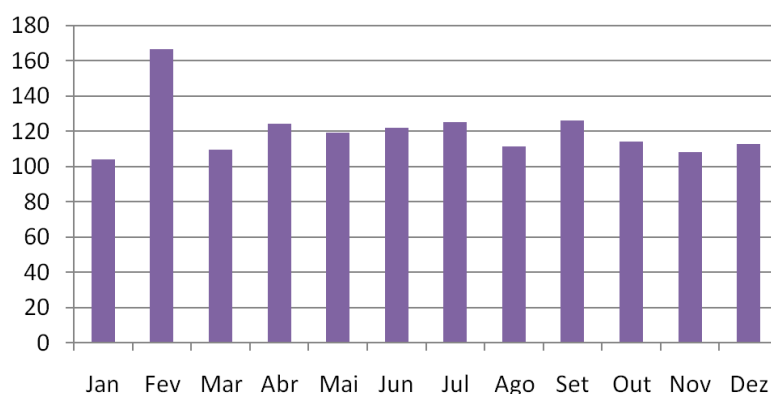


Figura 5.2: gráfico de média mensal de precipitação em mm entre os anos de 1991 e 2014. Dados da Estação Agroclimatológica de Pelotas (Embrapa/UFPel), localizada a 31°52'00" de latitude Sul, 52°21'24" de longitude oeste e 13,24 metros de altitude

Os ventos de sudoeste predominam de maio a agosto, e nos demais períodos do ano há predomínio dos ventos de nordeste. A influência da massa de ar tropical atlântica, de características marinhas, manifesta-se em todas as estações do ano (ROSA, 1985). No verão, também há a influência da massa de ar equatorial continental, a qual produz chuvas frontais com trovoadas (SANTOS DA SILVA, 2007). Com valores maiores ocorrendo ao longo da costa da Laguna dos Patos e no centro da cidade, a velocidade média anual dos ventos é de 11 km/h. Nos demais períodos há possibilidade de ocorrência de vendavais,

associados com atividades conectivas em massas de ar tropical, os quais dão causa a tempestades de maior intensidade (SANTOS DA SILVA, 2007).

#### 5.1.4 Hidrografia

Pelotas está inserida na Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo a qual, por sua vez, de acordo com a Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais - CPRM, se insere na área de drenagem do Atlântico Sudeste, denominada Bacia 8 no Atlas Hidrológico ANEEL/SRH, que se estende ao longo do litoral brasileiro, desde a divisa dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, entrando em território do Uruguai (RODRIGUES FILHO, 1998).

Entendendo-se a bacia hidrográfica como a área geográfica de captação natural de água de precipitações, que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída (Tucci, 1993) são identificadas no município de Pelotas sete bacias fluviais: Arroio Turuçu, Corrientes, Contagem, Pelotas, Moreira/Fragata, Santa Bárbara e Costeira/Laranjal (Figura 5.3). Além destas, na zona urbana, existe uma pequena bacia que drena as águas pluviais para um canal com 5 km de extensão: a Bacia do Pepino (SILVEIRA, 2014).

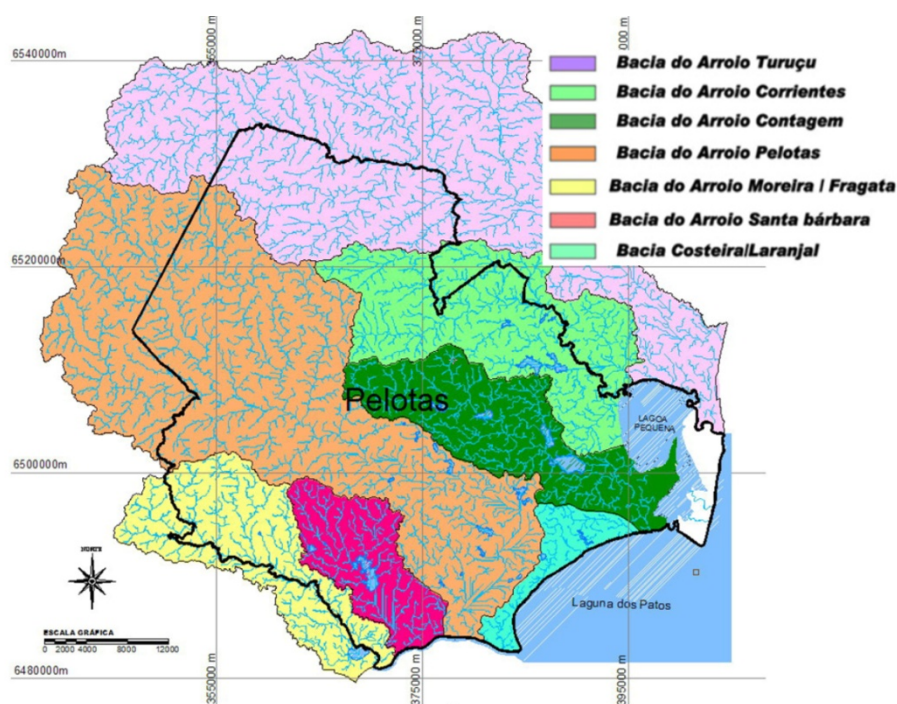


Figura 5.3: Bacias hidrográficas de Pelotas (baseado em: XAVIER, 2010; PMPel, 2009)

O Canal São Gonçalo, situado na divisa sul do município, faz a ligação entre a Lagoa Mirim, ao sul, e dos Patos, ao norte, e tem uma importância fundamental em vários aspectos socioeconômicos e ambientais para toda a região. É o único escoadouro da Lagoa Mirim;

assim, drena toda a carga hídrica do complexo hidrográfico Mirim. Excetuando os grandes corpos lagunares (Patos e Mirim), as maiores lagoas da região são a Lagoa Pequena, com 61 km<sup>2</sup> a nordeste de Pelotas, e a Lagoa Formosa, ao sul (XAVIER, 2010). Conforme a Figura 5.4, a zona urbana do município divide-se em cinco bacias hidrográficas: Bacia do Pepino (com 28,26 km<sup>2</sup> - 14,71% do total), Bacia do Pelotas (com 61,42 km<sup>2</sup> - 31,99% do total), Bacia do Santa Bárbara (com 57,26 km<sup>2</sup> - 30% do total), Bacia do Moreira/Fragata (com 28,22 km<sup>2</sup> - 15% do total) e Bacia Costeira/Laranjal (com 17,48 km<sup>2</sup> - 9% do total).



Figura 5.4: Bacias hidrográficas urbanas de Pelotas (baseado em: XAVIER, 2010)

### 5.1.5 Geomorfologia e Relevo

O município de Pelotas faz parte de dois dos quatro grandes Domínios Morfoestruturais do Brasil: os Depósitos Sedimentares Quaternários (costeiros) e os Cinturões Móveis Neoproterozóicos (do sudeste-sul). Os primeiros são formados por planícies e terraços de baixa altitude e os últimos por planaltos, alinhamentos serranos e depressões interplanáticas (IBGE, 2006). Os domínios morfoestruturais organizam a causa de fatos geomorfológicos derivados de eventos geológicos de amplitude regional, na forma de unidades geotectônicas, com a presença de uma ou mais classes de rochas dominantes (IBGE, 2006).

A metade sudeste do município situa-se na Planície Costeira Gaúcha (ou Planície Costeira Sul-Brasileira) e a metade noroeste, no Planalto Rebaixado de Canguçu (ou Planalto Sul-Riograndense) (IBGE, 1986). A maior parte do município possui altitudes inferiores a 100 metros. Nas zonas mais elevadas, predominam altitudes entre 100 e 300 metros. Excepcionalmente, no extremo noroeste, as altitudes são superiores a 300 metros,

chegando, no máximo, em dois pontos, a pouco mais de 400 metros (ROSA, 1985). A zona urbana situa-se na Planície Costeira, possuindo altitude média de 7 metros, em relação ao nível do mar e apresenta duas unidades de relevo distintas: os terraços e as várzeas. Os primeiros correspondem às áreas de cotas altimétricas mais elevadas e os últimos às áreas mais baixas, constituídas de aluviões mal drenados (ROSA, 1985).

De acordo com Rosa (1985), o município pode ser dividido em duas grandes regiões geomorfológicas: a área de planície e baixadas planas, que compõem um relevo sobreposto (Planície Costeira), e a área ondulada ou dobrada, que constitui um relevo tectônico (Escudo Sul-Riograndense). Segundo o autor, na metade noroeste, Pelotas apresenta formas de borda de escudo e depósitos colúviais ou de planalto cristalino dissecado, com fraturas, com ou sem desnivelamento. Trata-se de um relevo estrutural de formas combinadas no qual predomina a topografia do modelado cristalino, representada por suaves ondulações. A porção sudeste, junto ao Canal São Gonçalo e à Laguna dos Patos, corresponde à área plana e baixa do município, a qual constitui uma planície flúvio-lacustre com trechos de várzeas, especialmente às margens do Canal (ROSA, 1985).

Com base nas cartas originais elaboradas, no início da década de 1980, pelo Projeto Radambrasil, o IBGE e a Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado do Rio Grande do Sul publicaram em 2003, uma Carta Geomorfológica, na escala 1:250.000 para o Rio Grande do Sul. Na carta de 2003, o IBGE utiliza uma proposta de taxonomia que visava, sobretudo, compatibilizar as diferentes classificações aplicadas durante o Projeto Radambrasil e integrar os diferentes fatos mapeados entre as áreas recobertas. A estrutura geomorfológica empregada utiliza o modelado de relevo como unidade básica e ordena os fatos geomorfológicos, seguindo uma classificação temporal e espacial. Conforme a ordem decrescente de grandeza, são identificados quatro táxons: (i) Domínios Morfoestruturais; (ii) Regiões Geomorfológicas; (iii) Unidades Geomorfológicas; (iv) Modelados e Formas de Relevo Simbolizadas (IBGE, 2009).

Os **Domínios Morfoestruturais** ocorrem em escala regional, organizando os fatos geomorfológicos segundo o arcabouço geológico definido pela natureza das rochas e pela tectônica que atua sobre as mesmas. São amplos conjuntos de relevo, cujas feições, embora diversas, guardam entre si as relações comuns com a estrutura geológica a partir da qual se formaram (IBGE, 2009). Em Pelotas, estão presentes dois domínios morfoestruturais:

- a) Depósitos Sedimentares Quaternários: são formados pelas áreas de acumulação representadas pela planície costeira, terraços de baixa

declividades e depressões modeladas sobre depósitos de sedimentos horizontais a sub-horizontais dos ambientes fluviais, lagunares e eólicos;

b) Embasamentos em Estilo Complexos (Cinturões Móveis Neoproterozóicos): conformam as áreas representadas por planaltos, alinhamentos serranos e depressões interplanálticas em terrenos dobrados e falhados, os quais incluem, principalmente, metamorfitos e granitóides associados.

As **Regiões Geomorfológicas** representam compartimentos inseridos em conjuntos litomorfoestruturais que, sob a ação dos fatores climáticos pretéritos e atuais, possuem características genéticas comuns, agrupando feições semelhantes (IBGE, 2009). Estão presentes na área de estudo três regiões geomorfológicas: (i) Planície Costeira Interna; (ii) Planície Continental; (iii) Planalto Sul-Riograndense.

As **Unidades Geomorfológicas** correspondem a um arranjo de formas altimétrica e fisionomicamente semelhantes em seus diversos tipos de modelados. Conforme o IBGE (2009), "cada unidade geomorfológica evidencia seus processos originários, formações superficiais e tipos de modelados diferenciados dos demais". No município de Pelotas, podem ser reconhecidas quatro unidades geomorfológicas: (i) Planície Lagunar; (ii) Planície Alúvio-Coluvionar; (iii) Planaltos Residuais Canguçu - Caçapava do Sul; (iv) Planalto Rebaixado Marginal.

Os **Modelados** abrangem "um padrão de formas de relevo que apresentam definição geométrica similar, em função de uma gênese comum e dos processos morfogenéticos atuantes", que resultam na recorrência de materiais correlativos superficiais (IBGE, 2009). Estão presentes na área de estudo, dois tipos de modelados:

a) Modelados de Acumulação (A)

- Terraços Lacustres (Atl): acumulação lacustre de forma plana, levemente inclinada, apresentando ruptura e declive em relação à bacia da Laguna dos Patos e às planícies lacustres mais recentes, situadas em nível inferior, entalhadas devido às variações de nível da lâmina de água, provocadas por mudanças de condições de escoamento, ou perda por evaporação e consequente retomada de erosão;

- Terraço Fluvial (Atf): acumulação fluvial de forma plana, levemente inclinada, apresentando ruptura de declive em relação ao leito do rio e às várzeas recentes, situadas em nível inferior, entalhada devido às mudanças de condições de escoamento e consequente retomada de erosão;

- Coluvial ou de Enxurrada (Ac): área plana ou abaciada, resultante da convergência de leques de espriamento ou da concentração de depósitos

de encurradas nas partes terminais de pendimentos (*bajadas*), podendo, eventualmente, apresentar solos solidizados (*playas*);

- Planícies Lacustre (Al): área plana, resultante de processos de acumulação lacustre, podendo comportar diques marginais;

- Eólica Dissipada (Ad): depósitos arenosos originados pela ação do vento e posteriormente, dissipados pela ação dos processos morfogenéticos pluviais.

b) Modelado de Dissecação Homogênea (D)

- Conforme as cartas do IBGE, folhas Pedro Osório e Pelotas, o modelado de dissecação homogênea apresenta uma dissecação fluvial que não obedece a nenhum controle estrutural e que é definida pela combinação das variáveis densidade e aprofundamento da drenagem.

O mapa da Figura 5.5 apresenta as unidades taxonômicas do município de Pelotas.

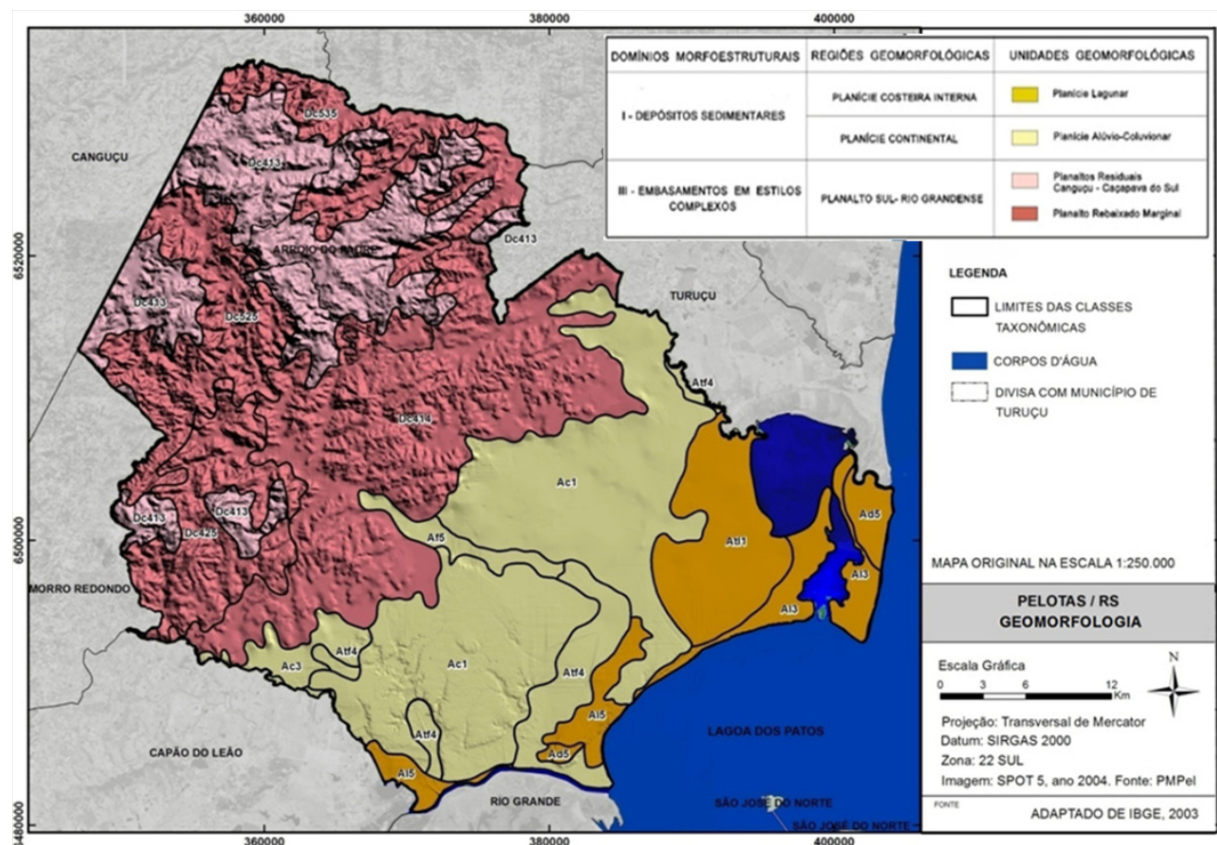


Figura 5.5: Mapa Geomorfológico do Município de Pelotas (baseado em IBGE, 2003).

Outro trabalho importante de mapeamento das formas do relevo do município de Pelotas é o de Sombroek (1969 *apud* CUNHA & SILVEIRA, 1996). Executado na escala de 1:50.000 e com uma visão voltada à pedologia, o mapa de Sombroek divide o município em cinco grandes zonas de relevo, conforme a Figura 5.6 abaixo.

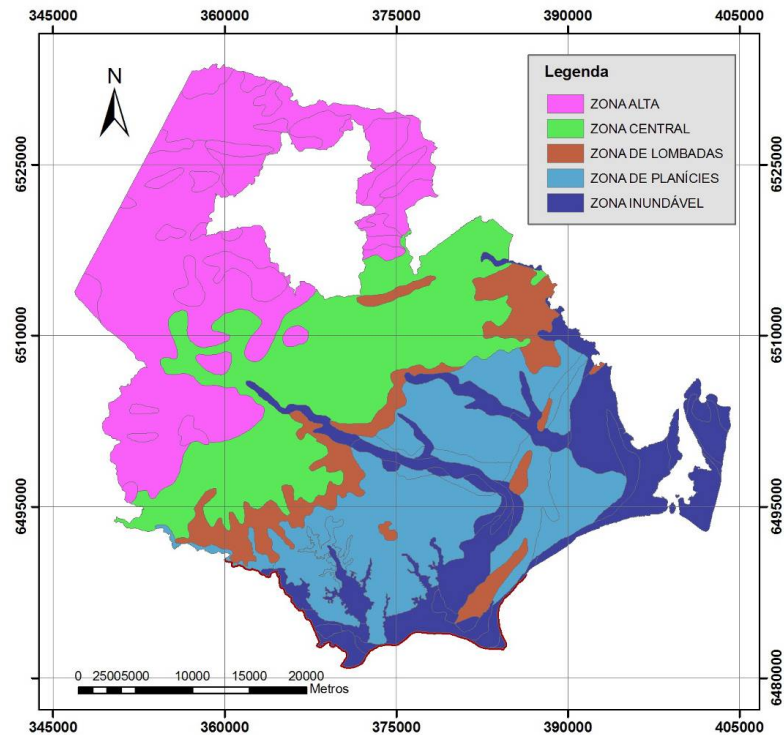


Figura 5.6: Zonas de relevo no município de Pelotas (baseado em SOMBROECK, 1969 *apud* CUNHA & SILVEIRA, 1996)

Conforme as descrições contidas em Cunha & Silveira (1996), cada uma dessas cinco zonas possui as seguintes características fisiográficas:

- a) **Zona Alta:** compreende as partes mais altas do relevo, comumente caracterizadas como serra, em cujo material de origem dos solos predominam as rochas cristalinas e metamórficas;
- b) **Zona Central:** Compreende as partes do relevo ondulado menos uniformes que as da serra, com solos profundos, desenvolvidos de rochas cristalinas e metamórficas;
- c) **Zona de Lombadas:** compreende as terras dos sedimentos mais antigos do Pleistoceno. Ocupa as partes mais altas da área sedimentar entre as coxilhas e as planícies, com solos diversos, variando entre bem drenados até mal drenados;
- d) **Zona de Planície:** compreende as terras planas não inundadas, ao redor da Lagoa Pequena e da Laguna dos Patos, com solos mal drenados ou muito mal drenados. É formada por sedimentos do final do Pleistoceno;
- e) **Zona inundável:** Compreende as terras de sedimentos holocênicos que estão, temporariamente ou permanentemente, inundadas por água de rios ou lagoas.



São solos imperfeitamente drenados a muito mal drenados. A terra é plana, mas há um forte mesorrelevo.

### 5.1.6 Geologia

Conforme Fragoso *et al.* (1986 *apud* MARTH *et al.*, 2008), o Batólito de Pelotas, cuja estrutura resultou de uma longa evolução, resultante da adição de distintos processos tectônicos ocorridos durante o ciclo Brasileiro (750 Ma - 550 Ma), está inserido na porção leste do Escudo Sul-Riograndense, que abrange uma superfície de 65.000 km<sup>2</sup>. O batólito possui, ao longo de suas extensões, seis suítes<sup>10</sup> granitóides (Suítes Intrusivas Pinheiro Machado, Erval, Viamão, Encruzilhada do Sul e Suíte Granítica Cordilheira), contendo ainda exposições de rochas ígneas básicas e septos de rochas metamórficas encaixantes (PHILIPP, 1998).

No município de Pelotas, o Escudo Sul-Riograndense está representado pela Suíte Intrusiva Pinheiro Machado, na qual se encontram rochas cortadas por diques (granitóides acinzentados) e xenólitos de rochas metamórficas (gnaisses), e pela Suíte Dom Feliciano, representada pelas fácies Serra do Erval e Cerro Grande (granitos rosados) (MARTH *et al.*, 2008). A porção sudeste do município, situada na Planície Costeira do Rio Grande do Sul, é mais recente e é composta por sedimentos arenosos, essencialmente siliciclásticos terrígenos provenientes da erosão, entre o Cretáceo e o Neógeno, das rochas do Escudo Sul-Riograndense, apresentando concentrações biodetríticas reliquias e camadas de sedimentos de granulometria silte e argila (MARTH *et al.*, 2008).

Pode-se compreender a estruturação da Planície Costeira, em resposta às oscilações do nível do mar, sob a forma de dois grandes sistemas deposicionais (VILLWOCK e TOMAZELLI, 1995): 1) Sistema de Leques Aluviais e 2) Quatro Sistemas Laguna-Barreira (Figura 5.7). O sistema deposicional de leques aluviais ocorreu durante o máximo da regressão Pliocênica, quando o nível do mar situava-se, no mínimo, 100 metros abaixo do atual. Decorre daí que, grande parte da plataforma adjacente teria sido coberta por sedimentos continentais, depositados na forma de leques aluviais. Esse sistema está

---

<sup>10</sup> O termo Suíte é recomendado para designar formações associadas, pertencentes à mesma classe, que tenham feições litológicas em comum (MARTH *et al.*, 2008).

associado à encosta do Escudo Sul-Riograndense, decorrentes de processos gravitacionais e aluviais de transporte de material. Os sedimentos vão, desde elúvios e colúvios, até depósitos aluviais. Os sistemas Laguna-Barreira, se desenvolveram em resposta aos máximos transgressivos marinhos ocorridos há 400, 325, 123 e 6 mil anos, aproximadamente (VILLWOCK e TOMAZELLI, 1995).

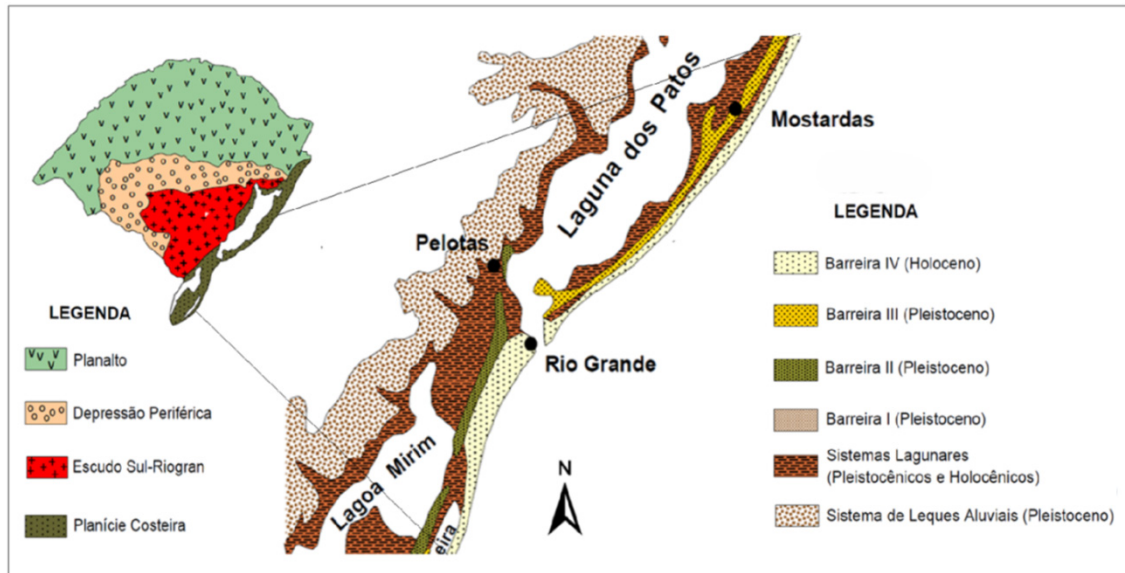


Figura 5.7: Províncias geomorfológicas do Rio Grande do Sul e mapa geológico simplificado da Planície Costeira (baseado em: AREJANO, 2006)

Segundo Tagliani (2002), o primeiro ciclo de transgressão-regressão (Sistema Laguna-Barreira I) foi responsável pela formação de uma barreira arenosa, que isolou o Sistema Lagunar Guaíba-Gravataí, ao norte da Planície Costeira. Ainda segundo o autor, os ciclos subsequentes (Sistemas Laguna-Barreira II, III e IV) gradativamente isolaram o amplo Sistema Lagunar Patos-Mirim, em um processo de adição de ilhas-barreira paralelas e, no final do Pleistoceno, uma grande regressão marinha ocasionou o entalhamento da rede fluvial, com forte erosão de todas as formações.

O Sistema Laguna-Barreira II corresponde ao primeiro estágio na evolução da Barreira Múltipla Complexa, cuja individualização está representada pela Lagoa dos Patos e pela Lagoa Mirim. Nessa transgressão-regressão pleistocênica ocorreu o isolamento da Lagoa Mirim e a formação de um pontal, que isola a Lagoa dos Patos do oceano (VILLWOCK e TOMAZELLI, 1995). O sistema deposicional Laguna-Barreira III corresponde à principal barreira responsável pelo isolamento final do Sistema Lagunar Patos-Mirim, denominada de Sistema de Barreira Múltipla Complexa. Ambientes deposicionais do tipo fluvial, lagunar e paludal formaram-se na depressão isolada, parcialmente, pela Barreira II e, principalmente, pela Barreira III (FARION, 2007).

O sistema mais recente (Sistema Laguna-Barreira IV) é resultante do máximo evento transgressivo marinho, ocorrido no Holoceno. A Barreira IV formou um novo sistema lagunar, constituído de um rosário de pequenas lagoas. Segundo Villwock e Tomazelli (1995), a elevação do nível do mar durante essa última transgressão foi responsável pelo afogamento das margens do Sistema Lagunar Patos-Mirim e dos baixos cursos fluviais, transformando-os em estuários. Também erodiu antigos terraços marinhos e formou as ilhas-barreiras que isolam diversos sistemas lagunares, ao longo de toda a costa do Rio Grande do Sul.

A Figura 5.8 apresenta o mapa o Geológico-Geomorfológico do Município de Pelotas, elaborado a partir dos vetores e atributos extraídos do Geobank da CPRM referentes ao Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul (SANTOS *et al.*, 1989).

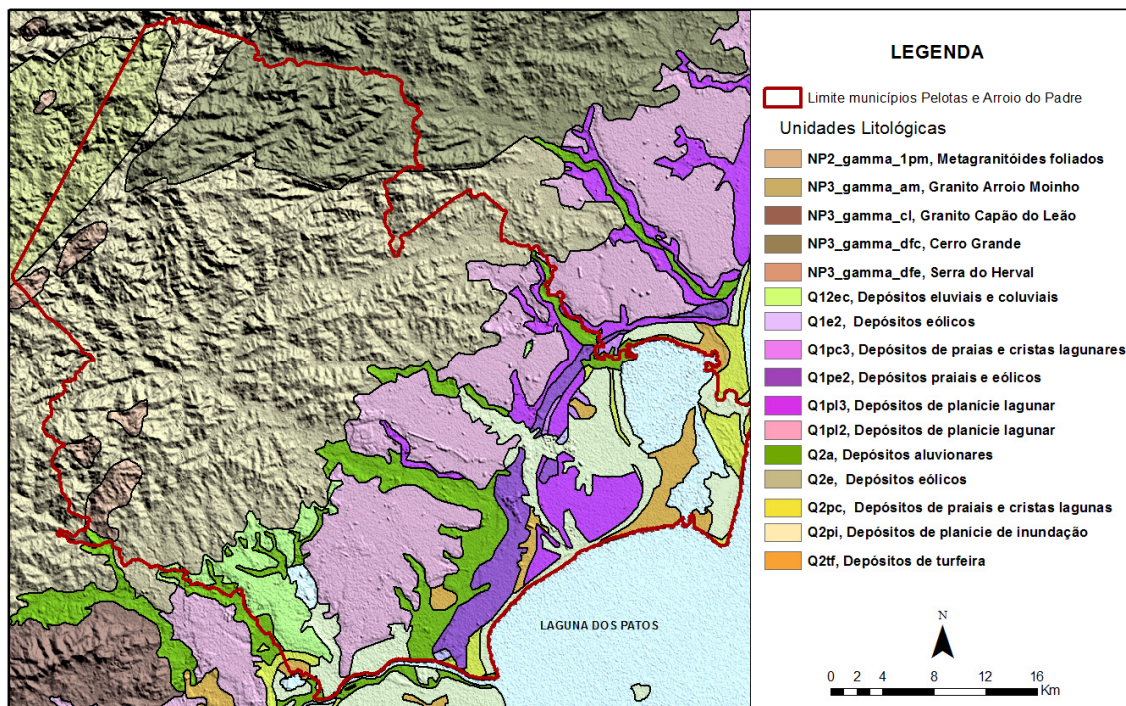


Figura 5.8: Mapa Geológico de Pelotas elaborado a partir de vetores e atributos obtidos do Geobank da CPRM. Relevo texturizado pelo autor a partir de MNT SRTM TOPODATA (baseado em SANTOS *et al.*, 1989)

### 5.1.7 Solos

A caracterização inicial dos solos da área de estudo segue a realizada por Cunha & Silveira (1996a, 1996b, 1996c), que é o resultado da análise e sintetização dos dados originais coletados por Sombroeck (1969 *apud* CUNHA & SILVEIRA, 1996) para o Projeto Lagoa Mirim. Os solos foram originalmente descritos e classificados de acordo com a metodologia da FAO/UNESCO e a *Soil Taxonomy*, e posteriormente correlacionados com a classificação

de solos usada em levantamentos pedológico no Brasil (3ª aproximação ao Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SisBCS), segundo Camargo *et al.* (1987).

Em seu trabalho original, Sombroek, segundo Cunha & Silveira (1996), utilizou como unidade descritiva os conjuntos de solos que ocorrem em uma mesma unidade geomorfológica ou fisiográfica, por ele definidas, em contraposição à descrição usual de classes de solos com todos seus níveis categóricos inferiores, isoladas ou em associações. Segundo Xavier (2010), Cunha & Silveira (1996) utilizaram esse mesmo método de representação na elaboração do mapa de solos, identificando a correlação direta entre as unidades geomorfológicas mapeadas e seus solos. A Tabela 5.2 apresenta as unidades de solos presentes na área de estudo, mapeadas conforme Cunha & Silveira (1996a, 1996b, 1996c), as quais incluem também solos dos municípios do Capão do Leão e de Rio Grande, suas classificações, zona de relevo à qual pertencem e respectivas áreas. A Figura 5.9 mostra o mapeamento das mesmas.

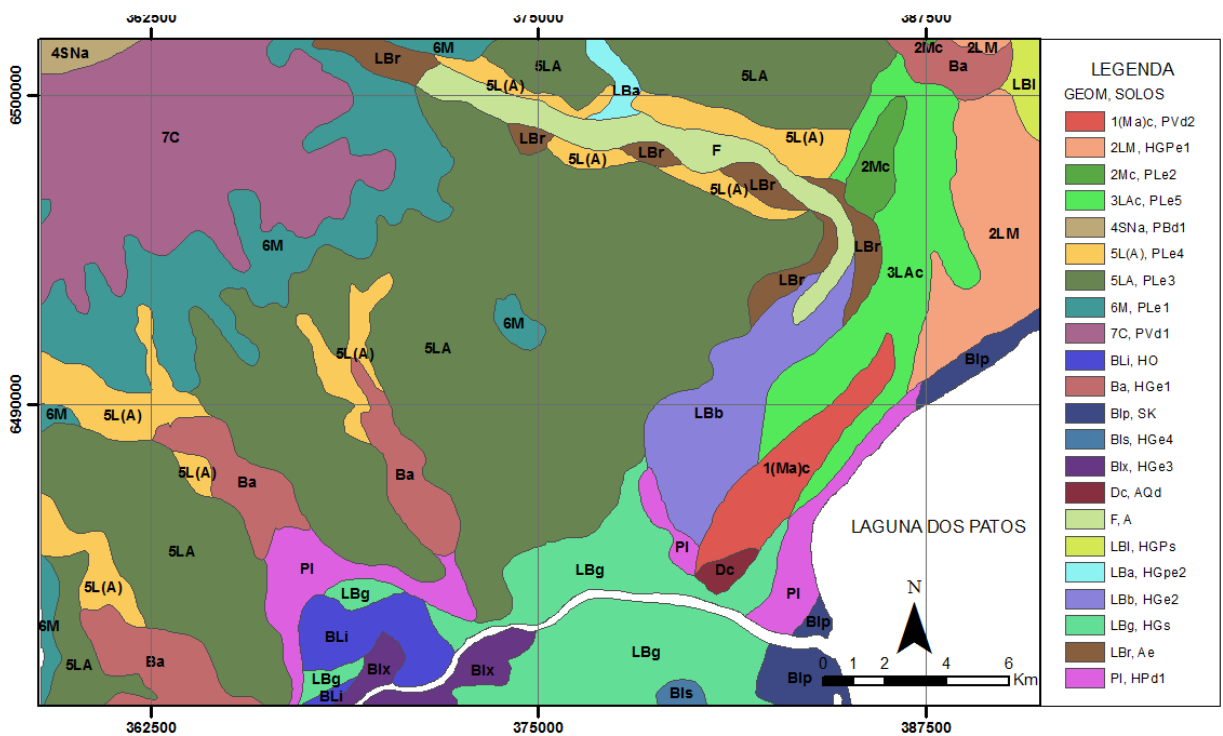


Figura 5.9: Mapa de solos e zonas de relevo da área de estudo (baseado em CUNHA & SILVEIRA, 1996)

Tabela 5.2: unidades de solos da área de estudo, suas classificações, zona de relevo a qual pertencem e respectivas áreas

GEOMORFOLOGIA		SOLOS		ÁREA (km <sup>2</sup> )
<b>1(Ma)c</b>	Lombadas Costeiras Arenosas	PVd2	PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO PLÍNTICO com GLEI HÚMICO PLANOSSÓLICO	11,89
<b>2LM</b>	Planície Média	HGPe1	GLEI POUCO HÚMICO com PLANOSSOLOS	24,16
<b>2Mc</b>	Lombadas Costeiras	PLe2	PLANOSSOLO com PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO PLANOSSÓLICO	4,28
<b>3LAc</b>	Planície Alta Costeira	PLe5	PLANOSSOLO com SOLONETZ e GLEI POUCO HÚMICO	31,47
<b>4SNa</b>	Terras Altas não Rochosas	PBd1	PODZÓLICO BRUNO-ACINZENTADO e REGOSSOLO e AFLORAMENTOS ROCHOSOS	2,93
<b>5L(A)</b>	Planície Alta Atacada	PLe4	PLANOSSOLO com SOLONETZ e GLEI POUCO HÚMICO	34,25
<b>5LA</b>	Planície Alta	PLe3	PLANOSSOLO com SOLONETZ e GLEI POUCO HÚMICO	227,43
<b>6M</b>	Lombadas	PLe1	PLANOSSOLO com PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO PLANOSSÓLICO	48,71
<b>7C</b>	Colinas Cristalinas - 7C	PVd1	PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO com PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO PLANOSSÓLICO	63,58
<b>Ba</b>	Banhados Fluviais	HGe1	GLEI HÚMICO com SOLO ORGÂNICO e SOLO ALUVIAL	30,14
<b>Bli</b>	Banhados Lacustres Baixos	HO	SOLO ORGÂNICO SALINO, GLEI HÚMICO com GLEI	10,02
<b>Blp</b>	Banhados Marginais da Lagoa	SK	SOLONCHAK e SOLOS HIDROMÓRFICOS	8,96
<b>Bls</b>	Banhados Lacustres	HGe4	GLEI HÚMICO EUTRÓFICO E SOLOS ALUVIAIS EUTRÓFICOS	1,07
<b>Blx</b>	Complexo do São Gonçalo	HGe3	COMPLEXO DE GEI HÚMICO E GLEI POUCO HÚMICO SOLÓDICO EUTÓRFICO E SOLONCHAK COM SOLO ORGÂNICO SALINO, GLEI HÚMICO E GLEI TIOMÓRFICO	6,66
<b>Dc</b>	Dunas Costeiras	AQd	AREIAS QUARTZOSAS	1,57
<b>F</b>	Terras com Matas Fluviais	A	SOLO ALUVIAL e GLEI HÚMICO	14,56
<b>LBa</b>	Terras Baixas de Riachos	HGPe2	GLEI POUCO HÚMICO com SOLO ALUVIAL E GLEI HÚMICO	2,36
<b>LBb</b>	Planície Baixa de Estuário	HGe2	GLEI HÚMICO	21,76
<b>LBg</b>	Planície do São Gonçalo	HGs	GLEI HÚMICO E GLEI POUCO HÚMICO SOLÓDICOS com SOLONETZ e SOLONCHAK	44,55
<b>LBI</b>	Planície Baixa Lacustre	HGPs	GLEI POUCO HÚMICO SOLÓDICO com SOLONETZ e SOLONCHAK	3,29
<b>LBr</b>	Terras Baixas Fluviais	Ae	SOLO ALUVIAL com GLEI POUCO HÚMICO	12,90
<b>PI</b>	Traços de Praias	HPd1	PODZOL HIDROMÓRFICO e GLEI HÚMICO	19,87

(Fonte: Xavier, 2010; Cunha &amp; Silveira, 1996)

A seguir, apresenta-se a descrição dos solos presentes em cada uma das unidades geomorfológicas definidas por Cunha & Silveira (1996), seguindo o sistema proposto pela FAU/UNESCO. Ao final da descrição de cada unidade, aparece a nomenclatura definida pelo sistema de classificação pedológica vigente à época do supracitado levantamento (CAMARGO et al., 1987) e, por fim, a correlação com o novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS, conforme Embrapa (2014), limitada ao 3º nível categórico (subordens).

**Unidade (Ma)c - Lombadas Costeiras Arenosas:** o material de origem da unidade são argilas e areias finas (Formação Itapoã/Narvaez, segundo Delaney, 1965), e o solo dominante é o *Plinthic Luvisol*, fase costeira e arenosa, muito profundo e de moderado a imperfeitamente drenado. Nas pequenas depressões (olhos d'água) ocorre o *Planic Ochric Gleysol* (CUNHA & SILVEIRA, 1996). As nomenclaturas no SiBCS são:

- a) 3ª aproximação ao SiBCS: Podzólico Vermelho-Amarelo Plíntico eutrófico e distrófico com Gleí Húmico Planossólico indiscriminado (PVd2);
- b) SiBCS atual: Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico (PVAe) e Argissolo Vermelho Amarelo Distófico com Gleissolo Melânico indiscriminado (GM).

**Unidade 2LM - Planície Média:** Os materiais de origem são, em sua maioria, argilas e siltes da formação São Luiz/Canõa, ambas do pleistoceno, sendo encontradas em alguns locais, a pouca profundidade, argilas cascalhentas e areias da formação Paso del Puerto/Graxaim II. O *Planic Ochric Gleysol* é um solo profundo, imperfeitamente drenado (CUNHA & SILVEIRA, 1996). As nomenclaturas no SiBCS são:

- a) 3ª aproximação ao SiBCS: Gleí Pouco Húmico eutrófico com Planossolo eutrófico (HGPe1);
- b) SiBCS atual: Gleissolo Háplico Ta Eutrófico (GXve) com Planossolo Háplico Eutrófico (SXe).

**Unidade 2Mc - Lombada Costeira:** O solo dominante da unidade é *Subdystric Aeric Ochric Planosol* com *Brunic Planic Luvisol*, ambos fase costeira. O material de origem é composto por areias finas argilosas da formação Itapoã/Narvaez. O *Subdystric Aeric Ochric Planosol* ocorre nas partes planas e nas partes baixas das encostas, compondo 70% da associação. Trata-se de um solo profundo e moderadamente a imperfeitamente drenado. O *Brunic Planic Luvisol* ocorre na parte superior da encosta. Ele é profundo e moderadamente drenado (CUNHA & SILVEIRA, 1996). As nomenclaturas no SiBCS são:

- a) 3ª aproximação ao SiBCS: Planossolo eutrófico com Podzólico Vermelho-Amarelo planossólico indiscriminado (PLe2);
- b) SiBCS atual: Planossolo Háptico Eutrófico (SXe) com Argissolo Vermelho-Amarelo indiscriminado (SXe).

**Unidade 3LAc - Planície Alta Costeira:** Os solos da unidade possuem alta percentagem de areia fina, relativa espessura na camada superior, percentagem baixa de matéria orgânica e, freqüentemente, alta percentagem de magnésio trocável. O material de origem compõe-se de argilas e areias finas, oriundas de sedimentos pleistocênicos marinhos; o relevo é plano, mas há um considerável mesorrelevo, que formam lagoas muito pequenas, mas consideravelmente largas e profundas. O solo dominante é o *Subdystric Paraquic Ochric Planosol* fase costeira *Gleysol* (CUNHA & SILVEIRA, 1996). As nomenclaturas no SiBCS são:

- a) 3ª aproximação ao SiBCS: Planossolo eutrófico com Solonetz e Glei Pouco Húmico indiscriminado (PLe5);
- b) SiBCS atual: Planossolo Háptico Eutrófico (SXe) com Planossolo Nátrico indiscriminado (SN) e Gleissolo Háptico indiscriminado (CX).

**Unidade 4SNa - Terras Altas não Rochosas:** Na região desta unidade, há ocorrência de um complexo de *Chromic Acrisol*, fase rasa, *Chromic Acrisol* (modelo) e *Dystric Rhegosol* com afloramentos de migmatitos homogêneos. Conforme Cunha & Silveira (1996), os materiais de origem são, supostamente, migmatitos homogêneos. O *Chromic Acrisol*, modelo e fase rasa, ocupam cerca de 85% dos terrenos e trata-se de solos bem drenados e relativamente profundo (50-100 cm). O *Dystric Rhegosol* ocupa o restante dos terrenos e é, normalmente, um solo excessivamente drenado e raso (40 cm), estando a camada superficial diretamente interligada ao subsolo cascanhento (CUNHA & SILVEIRA, 1996). As nomenclaturas no SiBCS são:

- a) 3ª aproximação ao SiBCS: Podzólico bruno-acinzentado distrófico e Regossolo eutrófico e distrófico (PBd1);
- b) SiBCS atual: Argissolo Bruno-acinzentado Distrófico (PBACd), Neossolo Regolítico Eutrófico (RRe) e Neossolo Regolítico Distrófico (RRd).

**Unidade 5L(A) - Planície Alta Atacada:** O material de origem dos solos da unidade é o mesmo da Planície Alta, mas o conteúdo de argila é algumas vezes menor, e o teor de cascalho geralmente maior. O solo dominante, *Subdystric Paraquic Ochric*, fase rasa, tem como material de origem argilas, siltes arcóseos e areias da Formação Padel

Puerto/Graxaim II (segundo Delaney, 1965), com ocorrência frequente de cascalhos. Os solos da Planície Alta Atacada são comparáveis aos da Planície Alta, mas, em toda parte, as texturas são, em geral, relativamente arenosas e com grande quantidade de cascalhos, o que determina maior espessura e maior quantidade de areia na camada superior (CUNHA & SILVEIRA, 1996). As nomenclaturas no SiBCS são:

- a) 3ª aproximação ao SiBCS: Planossolo eutrófico com Solonetz e Glei Pouco Húmico indiscriminados (PLe4);
- b) SiBCS atual : Planossolo Háptico Eutrófico (SXe) com Planossolo Nátrico Indiscriminado (SN) e Gleissolo Háptico indiscriminando (CX).

**Unidade 5LA - Planície Alta:** Seus solos são imperfeitamente drenados, siltosos ou argilosos, de variável fertilidade química e, normalmente, de más condições físicas. O solo predominante, *Subdystric Paraquic Ochric Planosol*, é formado por argilas e areias levemente cascalhentas, da Formação Graxaim II (segundo Delaney, 1965), do período pleistocênico. Trata-se de um solo profundo, com drenagem imperfeita (CUNHA & SILVEIRA, 1996). As nomenclaturas no SiBCS são:

- a) 3ª aproximação ao SiBCS: Planossolo eutrófico com Solonetz e Glei Pouco Húmico indiscriminados (PLe3);
- b) SiBCS atual: Planossolo Háptico Eutrófico (SXe) com Planossolo Nátrico Indiscriminado (SN) e Gleissolo Háptico indiscriminando (CX).

**Unidade 6M - Lombadas:** Os solos da unidade são de moderados a imperfeitamente drenados, com fertilidade química variável e propriedades físicas de moderadas a más. O material de origem são argilas cascalhentas, areias arcósicas e siltes (Formação Graxaim I, segundo Delaney, 1965). O *Subdystric Aeris Ochric Planosol* ocorre no topo do terreno e nas partes côncavas dos declives; é moderadamente ou mal drenado, e compreende, aproximadamente, 65% da associação. O restante da associação é formado pelo *Brunis Planic Luvisol*, que é um solo de moderadamente a bem drenado e profundo, e apresenta grande variação de características e de graus de transição para o *Planosol*, ou para o *Brunis*, ou *Ferris Luvisol* e *Chromis Acrisol* (CUNHA & SILVEIRA, 1996). As nomenclaturas no SiBCS são:

- a) 3ª aproximação ao SiBCS: Planossolo eutrófico com Podzólico Vermelho-Amarelo Planossólico indiscriminado (PLe1);
- b) SiBCS atual: Planossolo Háptico Eutrófico (SXe) com Argissolo Vermelho-Amarelo indiscriminado (PVA).



**Unidade 7C - Colinas Cristalinas:** O material de origem são, predominantemente, granitos anatéticos e migmatitos homogêneos, podendo haver, igualmente, migmatitos heterogêneos. O solo predominante é o *Ferric Luvisol*, um solo com drenagem profunda ou muito profunda (100-300 cm) (CUNHA & SILVEIRA, 1996). As nomenclaturas no SiBCS são:

- a) 3ª aproximação ao SiBCS: Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico e distrófico com podzólico vermelho-amarelo planossólico indiscriminado (PVd1);
- b) SiBCS: Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico (PVAe) e Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAd).

**Unidade Ba - Banhados Fluviais:** Os sedimentos da unidade, na sua maior parte arenosos, podem aparecer cobertos por uma camada de turfa de idade recente. O solo predominante é o *Humic Gleysol*, geralmente muito profundo e mal drenado, com camada superior, siltosa ou argilosa, apresentando boa estrutura. Em grande parte da área, também ocorre o *Hydric Histosol*, solo muito mal drenado que possui camada superior orgânica, com turfas e sedimentos argilosos consolidados (CUNHA & SILVEIRA, 1996). As nomenclaturas no SiBCS são:

- a) 3ª aproximação ao SiBCS: Gleí Húmico eutrófico e Solo Orgânico distrófico com Solo Orgânico e solo Aluvial indiscriminados (HGe1);
- b) SiBCS atual: Gleissolo Melânico Ta Eutrófico (GMve) e Organossolo Háptico indiscriminado (OX) com Neossolo Flúvico indiscriminado (RY).

**Unidade Bli - Banhados Lacustres Baixos:** Os sedimentos são os mesmos dos banhados, que secam temporariamente, mas acima deles há uma camada turfa de espessura variável. Os materiais de origem são argilosos, siltosos ou arenosos, da Formação Aluvião Lagunar, como turfas recentes. Os solos são formados por um complexo: o *Hydric Eutric Histosol*, fase salina; é profundo e muito mal drenado, o *Hydric Thionic Histosol* ou *Humic Gleysol*, que ocorrem simultaneamente, possuem uma camada superficial de turfas rasas ou ausentes (de 0 a 30 cm), e é comparável ao *Hydric Eutric Histosol*. Por fim, o complexo é formado pelo *Hydric Thionic Histosol* ou *Hydric Thionic Gleysol*, também com características semelhante aos demais, embora com forte cheiro de gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S), evidenciando o tiomorfismo existente (CUNHA & SILVEIRA, 1996). As nomenclaturas no SiBCS são:

- a) 3ª aproximação ao SiBCS: Complexo de Solo Orgânico Tiomórfico salino e Gleí Húmico eutrófico com solo Gleí Tiomórfico indiscriminado (HO);

- b) SiBCS atual: Organossolo Tiomórfico indiscriminado (OJ) e Gleissolo Melânico Ta Eutrófico (GMve) com Gleissolo Tiomórfico indiscriminado (GJ).

**Unidade B1p - Banhados Marginais da Lagoa dos Patos:** O material de origem, em geral, são argilas e areias da Formação Aluvião Lagunar. O solo dominante, o *Gleyic Solonchak*, é muito mal drenado, apresentando camada orgânica (horizonte O) de material turfoso, com 20 cm de espessura. O subsolo é formado por areia franca gleizada e com alta salinidade (CUNHA & SILVEIRA, 1996). As nomenclaturas no SiBCS são:

- a) 3ª aproximação ao SiBCS: Solonchak e Solos Hidromórficos indiscriminados (SK);
- b) SiBCS atual: Gleissolo Sáfico Órtico (GZo).

**Unidade B1s - Banhados Lacustres:** Suas camadas superiores de sedimentos são argilosas ou de argilas com outros sedimentos. Os materiais de origem são sedimentos siltosos, argilosos ou arenosos de Formação Aluvião Lagunar. O solo predominante, o Humic Gleysol, fase fluvial, é profundo e mal drenado, ocorrendo, também, em pouca percentagem, o Hydric Histic Gleysol (CUNHA & SILVEIRA, 1996). As nomenclaturas no SiBCS são:

- a) 3ª aproximação ao SiBCS: Gleí Húmico eutrófico e Solo Aluvial Eutrófico (HGe4);
- b) SiBCS atual: Gleissolo Melânico Ta Eutrófico (GMve) e Neossolo Flúvico Ta eutrófico (RYve).

**Unidade B1x - Complexo do São Gonçalo:** O material de origem da unidade são sedimentos argilosos, siltosos ou arenosos, da Formação Aluvião Lagunar, como turfas recentes, não havendo determinação de sua constituição. Nas partes altas, o solo predominante é o *Humic a Ochric Gleysol*, fase salina, com *Sodic Gleysol*, fase salina, e nas partes baixas os solos são formados por um complexo, como na unidade B1i (CUNHA & SILVEIRA, 1996). As nomenclaturas no SiBCS são:

- a) 3ª aproximação ao SiBCS: Complexo Gleí Húmico e Gleí Pouco Húmico Solódico eutróficos, Solonetz e Solonchak com Solo Orgânico Salino, Gleí Húmico e Gleí Tiomórfico (HGe3);
- b) SiBCS atual: Gleissolo Melânico Ta Eutrófico (GMve), Gleissolo Háptico Ta Eutrófico (GXve), Gleissolo Sáfico Órtico (GZo), Organossolo Tiomórfico indiscriminado (OJ) e Gleissolo Tiomórfico indiscriminado (GJ).

**Unidade Dc - Dunas Costeiras:** Ocorrem ao longo da costa, com exceção do extremo sul, e longe da costa, em casos isolados, e são formadas pelo *Dune Rhegosol*, solo excessivamente drenado e constituído por areias soltas. O relevo é enrugado, e facilmente modificável pela ação dos ventos (CUNHA & SILVEIRA, 1996). As nomenclaturas no SiBCS são:

- a) 3ª aproximação ao SiBCS: Areias Quartzosas distróficas (AQd);
- b) SiBCS atual: Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo).

**Unidade F - Terras com Matas Pluviais:** Seus solos (*Fluvisol* e *Humic Gleysol*) são, em geral, imperfeitamente a muito mal drenados. Os materiais de origens são sedimentos arenosos recentes. O *Fluvisol* é um solo imperfeitamente drenado, caracterizado pela ocorrência de sedimentos estratificados no perfil, com seixos, predominância de areias nas camadas, variação nas cores e conteúdo de matéria orgânica sem relação com a formação do solo. Com coloração própria dos solos gleizados, o *Fluvisol* possui um fração areia variável e, frequentemente, há elevado teor no conteúdo de elementos cascanhentos. O *Humic Gleysol* que ocorre, de forma inclusa, nas partes com suave mesorrelevo, é um solo argiloso ou siltoso (CUNHA & SILVEIRA, 1996). As nomenclaturas no SiBCS são:

- a) 3ª aproximação ao SiBCS: Solo Aluvial e Gleí Húmico indiscriminados (A);
- b) SiBCS atual: Neossolo Flúvico indiscriminado (RY) e Gleissolo Melânico indiscriminado (GM).

**Unidade LBa - Terras Baixas de Riachos:** Os solos predominantes são *Planic Humic/Ochric Gleysol*, fase fluvial, e *Humic Gleysol*, com *Fluvisol* e *Luvic Humic Gleysol*. Os materiais de origem são sedimentos argilosos aluviais diversificados do Holoceno. O *Planic Humic/Ochric Gleysol* ocorre, predominantemente, nas partes planas e o *Humic Gleysol* ou *Luvic Humic Gleysol* ocorre nas partes baixas. São solos, em geral, argilosos ou siltosos, consideravelmente profundos, nesta unidade (CUNHA & SILVEIRA, 1996). As nomenclaturas no SiBCS são:

- a) 3ª aproximação ao SiBCS: Gleí Pouco Húmico eutrófico com Solo Aluvial e Gleí Húmico indiscriminados (HGPe2);
- b) SiBCS atual: Gleissolo Háplico Ta Eutrófico (GXve) com Neossolo Flúvico indiscriminado (RY) e Gleissolo Melânico indiscriminado (GM).

**Unidade LBb - Planície Baixa de Estuário:** Nessa unidade predomina o *Humic Gleysol*, fases fluvial e arenosa, cujo material de origem são sedimentos arenosos da Formação

Aluvião Lagunar. Trata-se de um solo profundo e muito mal drenado, caracterizado por forte estratificação sedimentar no perfil, com predominância de camadas arenosas e/ou cascalhentas. As nomenclaturas no SiBCS são:

- a) 3º aproximação ao SiBCS: Gleí Húmico eutrófico (HGe2);
- b) SiBCS atual: Gleissolo Melânico Ta eutrófico (GMve).

**Unidade LBg - Planície do São Gonçalo:** Os sedimentos, em sua maioria, são silte ou argila, no lado sul, e silte ou areia, no lado norte. São de épocas recentes a sub-recentes e são, aparentemente, depositados sob condições de sedimentação em água salobra. O solo predominante é o *Humic a Ochric Gleysol*, fase salina, com *Sodic Gleysol*, fase salina, e os materiais de origem são, predominantemente, sedimentos arenosos da Formação Aluvião Lagunar (CUNHA & SILVEIRA, 1996). As nomenclaturas no SiBCS são:

- a) 3ª aproximação ao SiBCS: Gleí Húmico e Gleí Pouco Húmico solódicos com Solonetz e Solonchak indiscriminados (HG);
- b) SiBCS atual: Gleissolo Melânico Ta Eutrófico (GMve) e Gleissolo Háplico Ta Eutrófico (GXve) com Planossolo Nátrico indiscriminado (SN) e Gleissolo Sáfico indiscriminado (GZ).

**Unidade LBI - Planície Baixa Lacustre:** Os materiais de origem são areias, siltes e argilas da Formação Aluvião Lagunar, os quais abrangem duas fases: uma mais velha, a qual consiste de sedimentos da formação Canoa, retrabalhados em condições de água salobra, e outra, mais recente, constituída originalmente, de sedimentos aluviais com mistura de areias de praia, igualmente retrabalhadas em ambiente de água salobra. O solo predominante *Sodic Gleysol*, fase salina, é profundo e pobremente drenado, havendo também, em inclusão, o *Humic* ou *Ochric Gleysol* (CUNHA & SILVEIRA, 1996). As nomenclaturas no SiBCS são:

- a) 3ª aproximação ao SiBCS: Gleí Pouco Húmico Solódico com Solonetz e Solonchak indiscriminados (HGPs);
- b) SiBCS atual: Gleissolo Háplico Ta Eutrófico (GXve) com Planossolo Nátrico indiscriminado (SN) e Gleissolo Sáfico indiscriminado (GZ).

**Unidade LBr - Terras Baixas Fluviais:** Os solos predominantes são *Fluvisol* e *Humic Gleysol*; o material de origem são sedimentos aluviais arenosos recentes (Holoceno Inferior), com ocorrências de *Planic Humic/Ochric Gleysol*, fase rasa. Nas partes altas, ocorre o *Planic Humic* ou *Ochric Gleysol*, e pode ocorrer, ocasionalmente, o *Aquic Ochric Planosol*. Ambos os solos possuem, normalmente, areia e/ou subsolos cascalhentos, com

tipificação características da fase fluvial ou da fase costeira. Nas partes baixas, ocorre o *Humic Gleysol* ou, com menos frequência, o *Luvic Humic Gleysol*. Esses apresentam silte fino ou argila, na camada superior e na camada subsuperficial, mas também areia e subsolos cascalhentos (CUNHA & SILVEIRA, 1996). As nomenclaturas no SiBCS são:

- a) 3ª aproximação ao SiBCS: Solo Aluvial eutrófico com Gleis Pouco Húmico eutrófico (Ae);
- b) SiBCS atual: Neossolo Flúvico indiscriminado (RY) com Gleissolo Háptico Ta Eutrófico (GXve).

**Unidade PI - Traços de Praias Lacustres:** Os sedimentos dessa unidade são areias finas que, aparentemente, formaram-se em períodos do Holoceno Inferior, quando a carga de sedimentos dos rios era insignificante e as lagoas estavam em ampla e aberta ligação com o oceano e existiam fortes correntes lacustres. O material de origem são sedimentos arenosos de dunas. Os terrenos, em geral, são planos, mas há muito mesorrelevo devido à presença de ondulações paralelas e depressões. As depressões formam canais que são parcialmente alagados, enquanto as partes altas e centrais são formadas por cordões arenosos. O solo predominante, *Rhegic Gleyic Podzol*, é profundo, variando de moderadamente bem a mal drenado e ocorre nas partes mais altas. Nas depressões, está presente o *Humic Gleysol*, muito mal drenado, com camada superior arenosa húmica (sobre areia fortemente gleizada) (CUNHA & SILVEIRA, 1996). As nomenclaturas no SiBCS são:

- a) 3ª aproximação ao SiBCS: Podzol Hidromórfico distrófico e Gleis Húmico indiscriminado (HPd1);
- b) SiBCS atual: Espodossolo Ferri-humilúvico indiscriminado (ES) e Gleissolo Melânico indiscriminado (GM).

## 5.2 INVENTÁRIO COMPLEMENTAR DOS DADOS DISPONÍVEIS

No presente item, descreve-se o resultado do inventário complementar dos dados disponíveis, os quais foram prospectados junto à Prefeitura de Pelotas, a UFPel e através de pesquisa bibliográfica de trabalhos e mapas que tratam, de forma parcial ou total, de aspectos de interesse do meio físico da área de estudo. Os dados foram tabulados e classificados quanto à abrangência territorial, formato, tipo do arquivo digital, georreferenciamento, tipo, escala (indicada ou inferida), sistema de projeção, datum horizontal, fonte e ano. Por fim, se esses dados foram, ou não, utilizados, pois alguns mostraram-se redundantes ou desnecessários (Tabela 5.3)

Tabela 5.3: Dados prospectados a cerca do meio físico de Pelotas

DESCRIÇÃO	ABRANGÊNCIA	FORMATO	GEO	CLASSIFICAÇÃO	ESCALA	PROJEÇÃO	FONTE	ANO	USO
Mapa de quadras, ruas, lotes e divisões territoriais urbanas	Zona urbana	Vetorial	Sim	Cartografia básica	1:1.000	UTM/SIRGAS	PMPel	2016	Sim
Mapa de estradas, corpos e cursos d'água e divisões distritais da zona rural	Zona rural	Vetorial	Sim	Cartografia básica	1:50.000	UTM/SIRGAS	PMPel	2005	Sim
Curvas de nível	Município	Vetorial	Sim	Altimetria	1:50.000	UTM/SAD69	EMBRAPA DSG/Exército	1980	Sim
Curvas de nível	Zona urbana	Vetorial	Sim	Altimetria	1:2.000	UTM/SAD69	PMPel	1995	Não
Pontos altimétricos	Zona urbana	Vetorial	Sim	Altimetria	1:2.000	UTM/SAD69	PMPel	1995	Sim
Delimitação de bacias hidrográficas	Município	Vetorial	Sim	Hidrografia	1:50.000	UTM/SAD69	PMPel	2005	Sim
Mapa de Geomorfologia e Solos do Município de Pelotas	Município	Raster	Não	Temático	1:100.000	UTM/SAD69	Cunha & Silveira	1996	Sim
Mapa Geomorfológico - Folhas Pedro Osório (SH.22Y-C) e Pelotas (SH.22.Y-D)	Regional	Raster	Não	Temático	1:250.000	LAMBERT/SAD69	IBGE	2003	Sim
Mapa Geológico-Geomorfológico do Município de Pelotas	Município	Raster	Não	Temático	1:100.000	UTM/WGS84	Marth <i>et al.</i>	2008	Sim
Mapa Geológico do Município de Pelotas	Município	Raster	Não	Temático	Não especificada	Não especificado	Rosa	1995	Sim
Mapa Geológico do Rio Grande do Sul	Estado	Vetorial	Sim	Temático	1:750.000	POLICÔNICA/WGS84	Santos <i>et al.</i>	1989	Sim
Mapa de Padrões de Formas Semelhantes de Relevo do Município de Pelotas	Centro-Nordeste	Raster	Não	Temático	1:145.000	Não especificado	Silva & Rehbein	2015	Sim
Mapa Geomorfológico da planície lagunar sob a influência do Canal São Gonçalo, RS	Planície do São Gonçalo	Raster	Não	Temático	Não especificada	Não especificado	Silva & Simon	2015	Sim
Geologia e geomorfologia da planície aluvial do Canal São Gonçalo, RS, Brasil.	Planície do São Gonçalo	Raster	Não	Temático	1:124.000	UTM/SAD69	Villwock	1984	Sim
Mapa Geológico-Geomorfológico da porção média da planície costeira do RS	Município	Vetor	Sim	Temático	1:250.000	UTM/SAD69	Tagliani, modificado de CECO-UFRGS	2002	Sim

DESCRIÇÃO	ABRANGÊNCIA	FORMATO	GEO	CLASSIFICAÇÃO	ESCALA	PROJEÇÃO	FONTE	ANO	USO
Mapa de Solos Simplificado da porção média da planície costeira do Rio Grande do Sul	Município	Raster	Não	Temático	1:100.000	UTM/SAD69	Tagliani, modif. de Cunha & Silv.(1996)	2002	Sim
Mapa de Unidades Geoambientais da porção média da planície costeira do RS.	Município	Raster	Não	Temático	1:100.000	UTM/SAD69	Tagliani	2002	Sim
Mapa de Unidades Físico-Naturais da porção média da planície costeira do RS	Município	Raster	Não	Temático	1:100.000	UTM/SAD69	Tagliani	2002	Sim
Conjunto de ortofotos digitais	Município	Raster	Sim	Imagem	1:1.000	UTM/SIRGAS	PMPel	2015	Sim
Conjunto de Imagens multiespectrais do satélite Pleiades	Município	Raster	Sim	Imagem	50 cm	UTM/SIRGAS	PMPel	2015	Sim
Imagem multiespectral do satélite Spot 5	Município	Raster	Sim	Imagem	5 m	UTM/SAD69	PMPel	2004	Não
Imagem multiespectral do satélite Landsat8	Município	Raster	Sim	Imagem	10 m	WGS84	PMPel	2016	Sim
Modelo Digital de Elevação SRTM/TOPODATA	Município	Raster	Sim	Grade regular	30 m	WGS84	INPE	2011	Sim
Modelo Digital de Elevação ASTER	Município	Raster	Sim	Grade regular	30 m	WGS84	NASA	2011	Sim
Modelo Digital de Elevação - Imageamento a laser	Zona urbana	Raster	Sim	Grade regular	50 cm	UTM/SIRGAS	PMPel	2015	Não
Modelo Digital de Terreno - Imageamento a laser	Zona Urbana	Raster	Sim	Grade regular	50 cm	UTM/SIRGAS	PMPel	2015	Sim
Ortofoto digitalizada	Zona urbana	Raster	Não	Imagem	1:20.000	Não projetada	PMPel	1965	Sim
Ortofoto digitalizada	Zona urbana	Raster	Não	Imagem	1:20.000	Não projetada	PMPel	1959	Sim
Mapa cadastral da Rede de Esgoto	Zona urbana	Vetorial	Sim	Temático	1:2.000	UTM/SAD69	SANEP	2016	Não
Mapa cadastral da Rede de Água	Zona urbana	Vetorial	Sim	Temático	1:2.000	UTM/SAD69	SANEP	2016	Não
Laudos de Sondagens SPT	Zona urbana	Analógico	-	Prospecção	-	-	Beloni <i>et. al.</i>	2014	Sim

### 5.3 IDENTIFICAÇÃO PRELIMINAR DOS PROBLEMAS, CONFLITOS E IMPACTOS NO MEIO FÍSICO

Os problemas, conflitos e impactos no meio físico, preliminarmente identificados, são exclusivamente aqueles de caráter geotécnico, relacionados aos componentes do meio físico com substancial significado para as atividades de planejamento do uso e ocupação do solo da área de estudo.

#### 5.3.1 Inundações

As inundações, especialmente das áreas ocupadas da cidade, constituem-se nos problemas mais grave ocorrentes no município de Pelotas.

As inundações ocorrem sobre a Planície Costeira, onde se situa a zona urbana de Pelotas, e estão condicionadas tanto pelas características naturais do meio, quanto pela ação antrópica. Entre os condicionantes naturais citam-se os de natureza climática-meteorológica (magnitude e frequência das chuvas), os de natureza geológica-geomorfológica (solos, substrato geológico, morfometria das bacias de drenagem, lençol freático e cobertura vegetal). Além destes, os de natureza flúvio-hidrológica (hidráulica fluvial e as correntes e oscilações do nível da Laguna dos Patos) e, como cita Gouveia Souza(2005), até mesmo os de natureza oceânica (dinâmica de circulação costeira, junto à desembocadura da laguna). Os condicionantes antrópicos, por sua vez, resultam de intervenções diretas e indiretas nas bacias de drenagem, tais como: diminuição da capacidade de absorção dos solos, assoreamento do Arroio Pelotas, uso e ocupação das áreas marginais aos canais de drenagem, desvio do leito natural do Arroio Santa Bárbara e outras modificações na rede natural de drenagem, entre outros.

Pelotas, como tantos outros municípios estuarinos-lagunares e/ou costeiros, está situado em uma região com condições geomorfológicas particulares, quais sejam: em geral, as cabeceiras dos cursos d'água e maior parte das áreas de captação das bacias encontram-se em terrenos do escudo cristalino, que possuem declividades altas a médias, e o restante das bacias situam-se em terrenos da planície costeira, com declividades baixas a nulas. Desta forma, os cursos d'água da planície recebem um enorme volume de água proveniente do planalto (embasamento), ao mesmo tempo em que o coeficiente de escoamento diminui em resposta à diminuição das declividades e ao represamento causado pelas correntes da Laguna dos Patos (GOUVEIA SOUZA, 2005). Estas, por sua vez, estão condicionadas à



intensidade e à direção dos ventos. Em Pelotas, a perfeita separação entre o relevo das planícies (fluviáreas e lagunares) e o relevo dos terraços demarca claramente as áreas sujeitas à inundação natural (Figura 5.10). Mesmo assim, como em muitos outros municípios situados em planícies costeiras, tais áreas foram total ou parcialmente ocupadas, sujeitando seus moradores a vulnerabilidade por ocorrência de grandes inundações, como as dos anos de 1941, 1956, 1959, 1984, 1987, 1990, 1991, 1995, 1997, 1998, 2004, 2009 e 2015 (Tabela 5.4).

Tabela 5.4: Série histórica das maiores inundações em Pelotas entre os anos de 1941 e 2015

ANO DO EVENTO	MÊS DO EVENTO	P acumulada mm	PRINCIPAIS ÁREAS AFETADAS (CONFORME O JORNAL DIÁRIO POPULAR)
1941	ABR/MAI	350,40	Barão de Santa Tecla, Porto, Zonas Marginais ao São Gonçalo e Santa Bárbara.
1956	FEV	114,20	Vila Castilhos e Cerquinha, bairro Fragata, Zona Oeste, rua Marechal Floriano, Av. Saldanha Marinho, rua Marcílio Dias com Dr. Cassiano, rua Manduca Rodrigues, rua Viera Pimenta e uma larga extensão das vilas Canela, Silva, Barros, bairro Simões Lopes, Estação Ferroviária e imediações da Escola Técnica.
1959	ABR	208,00	Vilas Castilhos e Cerquinha.
1984	MAI	105,60	Bairro Pestano, Vila Farroupilha (Fragata), Corredor do Obelisco, Porto e General Osório nas proximidades da Barão de Mauá.
1987	AGO	150,60	Vila Castilhos, rua Barão de Santa Tecla, Marechal Deodoro, Andrade Neves, Gal. Osório, Conde de Porto Alegre, Gal. Neto, 7 de Setembro, Av. Ferreira Viana, Av. Saldanha Marinho e Bairro Simões Lopes e Pestano.
1990	FEV	295,40	Bairro Várzea, Av. Saldanha Marinho.
1991	ABR	199,70	Bairro Jardim Europa, Cohab-Tablada, Pestano e Py Crespo.
1995	JUL	110,20	Bairros Obelisco, Getúlio Vargas, Cohab-Tablada, Navegantes, Areal e Sanga Funda.
1997	DEZ	152,00	Vila Farroupilha. Av. 25 de Julho com a Av. Fernando Osório, praça do Colono, Av. Bento Gonçalves com a rua Andrade Neves e o bairro Nossa Sra. De Fátima.
1998	AGO	234,80	Vila Farroupilha, parte do bairro Areal, Guabiroba, Getúlio Vargas, Jardim Europa, Laranjal e a Av. Saldanha Marinho e imediações do terminal Rodoviário.
2004	MAI	292,60	Vila Castilhos, Vila Farroupilha, imediações da Rodoviária, rua General Osório, Uruguai e Simões Lopes, Av. Saldanha Marinho, cerca de 22 bairros afetados.
2009	JAN	208,60	Av. Adolfo Fetter, imediações da Rodoviária, bairro Guabiroba, Dunas, Cruzeiro, Fragata, Navegantes II, Fátima, Simões Lopes e Areal, rua Marechal Deodoro, rua Tiradentes, entre outros.
2015	OUT	-	Laranjal (balneários Santo Antônio, Valverde e Lot. Pontal da Barra), parte do lot. Recanto de Portugal, parte do lot. Marina Ilha Verde, Colônia de Pescadores Z3.

(Fonte: modificado de HANSMANN, 2013)

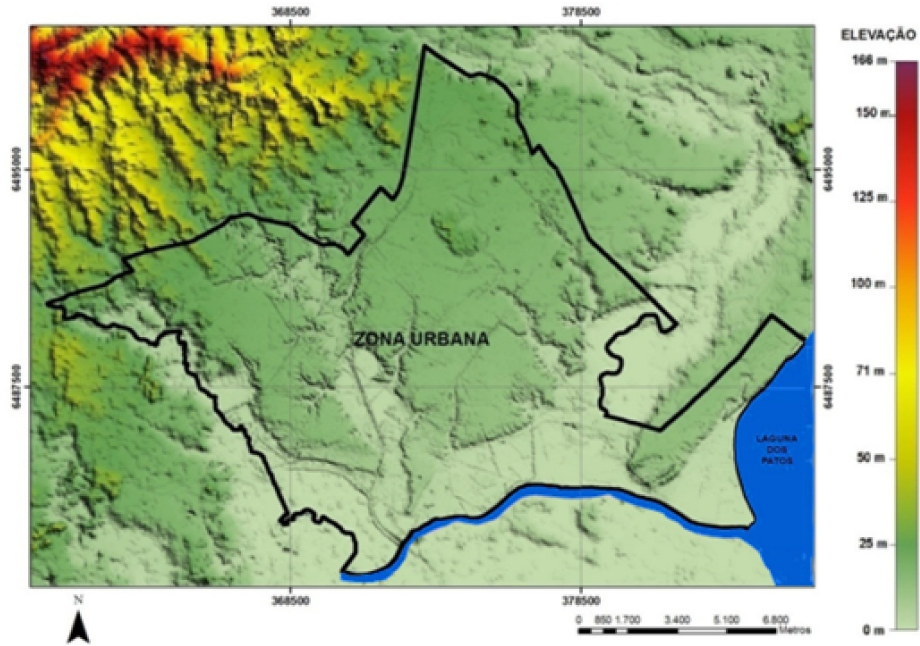


Figura 5.10: Mapa altimétrico da zona urbana de Pelotas e entorno, mostrando a clara separação entre os terraços e as planícies de inundação fluvial e lagunar

Hansmann (2013) apresenta um gráfico representa a precipitação acumulada e duração dos eventos de 1941 a 2009 (Figura 5.11) e pelo qual é possível perceber que muitos dos eventos foram de curta duração, indicando que alguns dos locais arroados nas reportagens do Jornal Diário Popular foram objetos não de inundações, e sim de alagamentos, também comuns na cidade.

### Precipitação acumulada e duração dos eventos

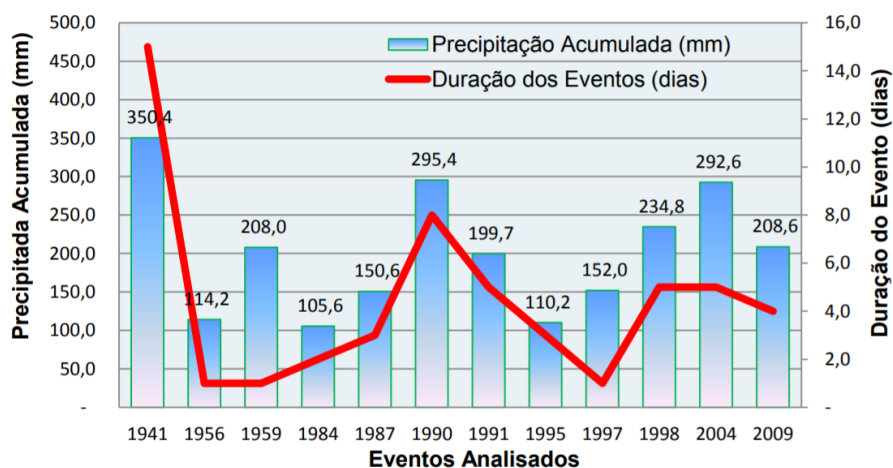


Figura 5.11 - Volume de água precipitado e duração dos eventos analisados por Hansmann. Fonte: Hansmann (2013)

A predisposição dos terrenos e as consecutivas inundações, vem motivando a realização de diversos trabalhos científicos que buscam analisar a ocorrência do fenômeno em Pelotas.

Santos da Silva (2007), por exemplo, buscando identificar aspectos que venha a contribuir com a diminuição das possibilidades de ocorrência das inundações, tenta compreender as relações entre estas e o processo de urbanização da cidade, indicando que os maiores conflitos encontrados são a ocupação de áreas de cotas altimétrica inferiores a 5 metros e de áreas ribeirinhas dos principais canais de drenagem da zona urbana. Lima, G. (2016), visando, entre outros objetivos, desenvolver um índice parcial de fragilidade ambiental associado as inundações, aponta a alta fragilidade das áreas próximas ao Canal São Gonçalo e a Laguna dos Patos. Gusmão *et al.* (2015) e Damé *et al.* (2005), por suas vezes, trabalham, respectivamente, com a análise hidrológica e a análise de impacto de eventos específicos, nestes casos, os de 2015 e 2004. Em relação ao evento de 2015 Gusmão *et al.* (2015) concluem tratar-se de um evento extremo que ultrapassou os valores de precipitação de projeto utilizados convencionalmente no dimensionamento dos sistemas de drenagem urbana, o que explica parcialmente, assim, a inundação de boa parte das áreas baixas da cidade.

Parte das áreas inundáveis da zona urbana do município foi protegida por um sistema de diques e bombas (como se verá mais adiante) sujeito a falhas, como a ocorrida na inundação de 2004 que atingiu a quase totalidade da planície do Canal Santa Bárbara, ocupada por edificações de diversos portes e usos, tal como a rodoviária da cidade (Figura 5.12). De outro modo, a área restante (planícies de inundação do Arroio Pelotas, parte da planície do Canal São Gonçalo e da Laguna dos Patos) encontra-se desprotegida e sujeita a inundações, como a ocorrida em outubro de 2015.



Figura 5.12: Inundação de 2004: ocupação pelas águas da planície de inundação do Canal Santa Bárbara, no local da rodoviária de Pelotas (PMPel, 2004)

Os sistemas locais de drenagem urbana (macro e microdrenagem) e de proteção contra inundações e alagamentos estão diretamente relacionados às formas e às altitudes do

relevo da cidade. Sua topografia plana e com poucos declives, mesmo nas regiões mais altas, dificulta substancialmente o escoamento pluvial (XAVIER, 2010). A área urbana encontra-se em uma altitude média de 7 metros acima do nível do mar e está limitada ao sul pelo Canal São Gonçalo, ao norte pelas superfícies dos terraços da Formação Graxaim, a oeste pela planície de inundação do Arroio Fragata e a leste pela Laguna dos Patos. Os arroios Santa Bárbara, Pepino e Pelotas (afluentas do Canal São Gonçalo) constituem seus principais drenos naturais e compõem a rede de macrodrenagem da cidade (ROTARY, 2001).

### 5.3.1.1 Ocupação de áreas das planícies de inundação.

A partir de seu núcleo inicial, localizado em uma faixa de terra entre as planícies de inundação do Arroio Santa Bárbara e do Canal São Gonçalo, Pelotas cresceu inicialmente (de 1815 a 1835) em direção sul, ocupando o restante da referida faixa. De 1835 a 1882, o crescimento espacial tomou a direção norte, acompanhando o relevo de mesma altitude, e a direção sudeste, iniciando a ocupação da várzea do São Gonçalo. De 1882 a 1916, o vetor de crescimento continuou em direção sudoeste, mas surgiu um novo vetor em direção oeste, que marcou o início da ocupação da várzea do Santa Bárbara (Figura 5.13: Poligonais do crescimento urbano inicial da cidade de Pelotas sobre mapa hipsométrico (XAVIER, 2010).

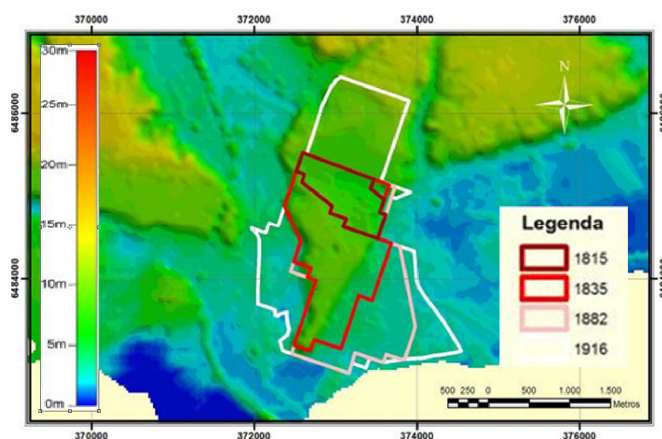


Figura 5.13: Poligonais do crescimento urbano inicial da cidade de Pelotas sobre mapa hipsométrico (XAVIER, 2010)

Constata-se, assim, que a ocupação das planícies de inundação do São Gonçalo e do Santa Bárbara é antiga, determinando o projeto e a execução parcial, no período de 1940 a 1990, de um conjunto de obras que integram o Sistema de Drenagem e Proteção contra as Enchentes de Pelotas (Figura 5.14). Estas objetivam, principalmente, proteger a cidade das inundações decorrentes do transbordamento do Canal São Gonçalo. Trata-se, basicamente,

no nível de macrodrenagem, de um conjunto de *polders*, na forma clássica de áreas baixas protegidas por diques, localizados nas margens dos cursos d'água (XAVIER, 2010). A drenagem pluvial, proveniente dos subsistemas de microdrenagem (rede primária e galerias) é feita através de estações de recalques nas áreas baixas, e por gravidade, nas zonas altas, através de canais de refluxos para os drenos principais de macrodrenagem. As comportas são fechadas e o sistema de bombeamento é acionado sempre que o nível d'água, externo às áreas protegidas, apresente-se mais elevado, impedindo o escoamento por gravidade (ROTARY, 2001).



Figura 5.14: Sistema de Drenagem e Proteção contra as Enchentes de Pelotas (baseado em ROTARY, 2001)

A figura anterior (Figura 5.14) mostra que somente a área protegida *polders* e diques estaria livre de alagamentos, ficando as demais sujeitas à ocupação pelas águas das chuvas. O certo é que, a despeito das medidas adotadas, as inundações em Pelotas são recorrentes, demonstrando, segundo Xavier (2010), a fragilidade do sistema e a inadequação da ocupação das chamadas áreas baixas. A matéria jornalística de 2004, apresentada na Figura 5.15, mostra que a população pelotense convive há muito com tal problema e suas consequências.



Figura 5.15: Manchete sobre inundações como fenômeno recorrente em Pelotas (DIÁRIO POPULAR, 2004 *apud* SANTOS DA SILVA, 2007)

Sem considerar a atenuação e não ocorrência de inundações sobre determinadas áreas em virtude do sistema de proteção, a simples simulação realizada com base no modelo digital de terreno - MDT da zona urbana oferece uma visão, a priori, das áreas naturalmente sujeitas à ocupação pelas águas das chuvas (Figura 5.16) que, na inundação de 2004, por exemplo, atingiram áreas com cota altimétrica de 4,20 metros.



Figura 5.16: Simulação com base em MNT das áreas suscetíveis a ocupação pelas águas da chuva. Em azul: área com cota altimétrica menor do que 4,20 metros em relação ao nível normal das águas do Canal São Gonçalo (exagero vertical: 10 vezes)

A Figura 5.17 mostra o intenso nível de ocupação das planícies de inundação do Arroio Santa Bárbara, Arroio Pelotas, Canal São Gonçalo e Laguna dos patos em parte da área de estudo, consequência da pressão imobiliária e de legislações de uso do solo, permissivas neste sentido.



Figura 5.17: Parte da poligonal das planícies de inundação do Canal São Gonçalo, Arroio Pelotas, Canal Santa bárbara e Laguna dos Patos (em azul com fundo rosado) sobre recorte de Imagem do satélite Peiades do ano de 2014 para parte da área de estudo

### 5.3.1.2 Ocupação de áreas de banhados

A ocupação indisciplinada de locais naturais de absorção das águas das chuvas, representados pelos banhados, é um dos fatores que tem contribuído para ocorrência de inundações na cidade de Pelotas. Descritos como corpos d'água permanentes ou

temporários, de contorno ou perímetro indefinido e sem sedimentos próprios (CARVALHO e OZÓRIO, 2007), a maioria dos banhados em Pelotas situam-se planícies de inundação dos corpos d'água. Estes banhados, além de constituírem ecossistemas de grande importância ambiental, desempenham uma função primordial no controle das inundações, por reterem e absorverem lentamente o excesso de pluviosidade. Disconzi *et al.* (2008), por exemplo, apontam os efeitos negativos da implantação do loteamento denominado Pontal da Barra, situado na Praia do Laranjal, no interflúvio da Barra do Canal São Gonçalo, entre a margem direita da Lagoa dos Patos e a margem esquerda do Canal São Gonçalo. Ao ocupar uma área de banhado na planície de inundação da Laguna dos Patos, o referido loteamento não só prejudicou a drenagem das áreas contíguas urbanizadas, como foi afetado pela própria localização, sendo constantemente inundado por ocasião das precipitações de maiores índices, como as de outubro de 2015 (Figura 5.18).



Figura 5.18: Loteamento Pontal da Barra durante a inundação de outubro de 2015 (IMAGENS GOOGLE, 2015).

### 5.3.2 Erosões e Assoreamentos

Em geral, os processos erosivos podem ser divididos em naturais ou geológicos, os quais se desenvolvem em condições de equilíbrio com a formação do solo, e acelerados ou antrópicos, cuja intensidade superior à da formação dos solos não permite a sua recuperação natural (SALOMÃO & IWASA, 1995). De origem hidrúca, os processos de erosão acelerada em Pelotas são, em sua maior parte, dos tipos laminar e *splash* (erosão pelo impacto das chuvas), mas também há erosões localizadas dos tipos praial e linear. As erosões laminares estão, via de regra, associadas aos tipos de solo, curvatura do relevo, cobertura vegetal e declividade, e as erosões do tipo *splash*, em geral, associam-se ao tipo de solo e à ausência ou baixa densidade da cobertura vegetal.

As erosões laminares e *splash* ocorrem, em maior ou menor grau, em praticamente todas as vertentes das sete bacias hidrográficas do município, com maior intensidade na bacia do

Arroio Pelotas (Figura 5.19a). A erosão praial, por sua vez, ocorre ao longo da margem da Laguna dos Patos, no chamado Saco do Laranjal (costa nordeste do estuário da laguna), mas tem sua maior intensidade, manifestando-se como um sério problema, no trecho de praia do Balneário dos Prazeres, o qual também apresenta problemas de erosão linear, que originaram o aparecimento de voçorocas (Figura 5.19b).

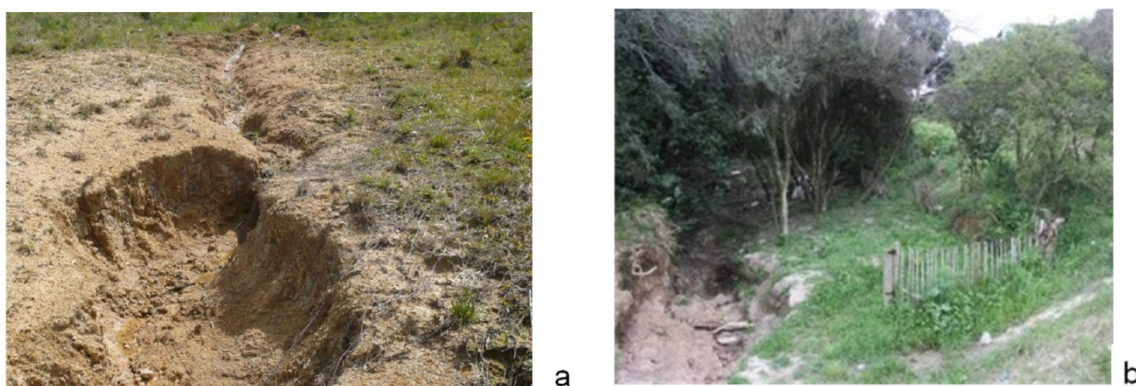


Figura 5.19: a: Voçoroca na vertente da Bacia do Arroio Pelotas (SILVA, R., 2009); b: ressurgimento da voçoroca no Balneário dos Prazeres (VASCONCELOS, 2013)

A erosão dos solos das bacias hidrográficas da área de estudo, além de dar origem à perda gradual de suas camadas férteis (horizontes A), são uma das causas do assoreamento dos cursos d'água, que, por sua vez, é agente intensificador da frequência e da intensidade de enchentes e inundações. O assoreamento é mais intenso na planície costeira, onde as baixas declividades determinam a ocorrência dos processos de sedimentação. O aumento de sedimentos nas calhas fluviais acarretam o decréscimo das profundidades dos cursos d'água, em decorrência do reajustes de seus equilíbrios, como no caso do Arroio Pelotas, o aumento da largura dos canais e de suas planícies de inundação. Em geral, na área de estudo, a degradação do solo por erosão está associada ao desmatamento para expansão da atividade agrícola ou para a expansão urbana. Silva, C. (2009), ao estudar a erosão da bacia do Arroio Pelotas, conclui que mais de 90% da área desta bacia apresenta algum grau de suscetibilidade à ocorrência de processos erosivos, sendo que cerca de 50% da bacia possui grau variando de moderado-forte a muito forte.

### 5.3.3 Recalques diferenciais e baixa capacidade de suporte a fundações

A presença de depósitos de argila de baixa consistência (solos moles) na cidade de Pelotas está relacionada à formação dos solos e do substrato geológico (litologia) das planícies lagunar e aluvionar, que correspondem a uma parcela significativa da zona urbana da cidade (Figura 5.20). As piores situações de suporte às fundações e ocorrência de recalques



está na associação de solos hidromórficos (Gleis húmicos) com substrato de planície lagunar, correspondente ao sistema deposicional laguna-barreira mais recente (sistema IV, desenvolvido no Holocênio). Nessas unidades, destaca-se a presença de argila orgânica cinza escura, de consistência mole a muito mole, que vai da superfície até significativas profundidades, podendo chegar a 15 m, com valores de  $N_{SPT}$  de 0 a 4 golpes.

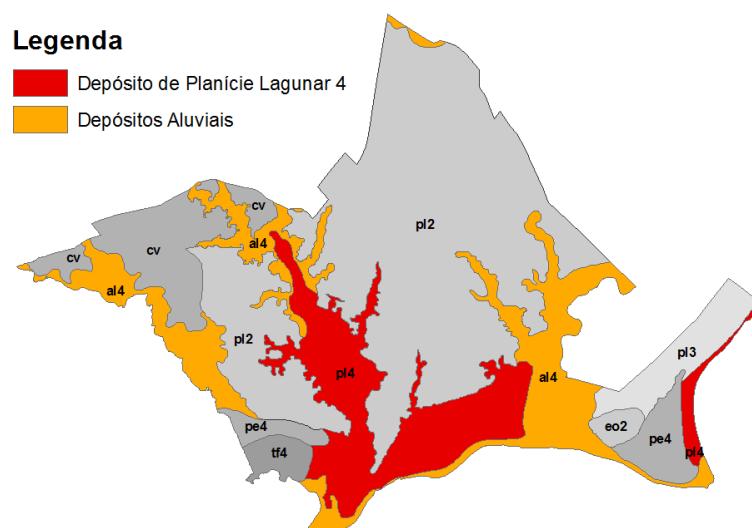


Figura 5.20: Áreas de ocorrência de depósitos de argila mole na zona urbana de Pelotas, correspondentes aos Depósitos de Planície Lagunar 4 e Depósitos Aluviais. Classes geológicas conforme Xavier (2010)

#### 5.4 DEFINIÇÃO DOS ATRIBUTOS RELEVANTES

Os atributos do meio físico relevantes à produção dos mapas de suscetibilidade e da carta de aptidão à urbanização, foram definidos em função dos processos geológico-geotécnico atuantes na área de estudo, com significância para o planejamento do uso e ocupação do solo. Os processos foram selecionados a partir da identificação preliminar descrita no item anterior (item 5.3). Entre os problemas geológico-geotécnicos que ocorrem na área de estudo destacam-se: a erosão; as inundações; a baixa capacidade de suporte de alguns terrenos às obras de engenharia. Com base nas indicações de Sobreira & Souza (2012), Bittar *et al.* (2013) e Zuquette e Gandolfi (2004), e na disponibilidade dos dados, foram definidos, como fundamentais ao mapeamento da suscetibilidade e da aptidão, os atributos presentes na Tabela 5.5. No que se refere mais especificamente à aptidão à urbanização, o rol de atributos deverá se complementado por toda a informação que se mostrar necessária ao seu mapeamento, em especial, aquelas relacionadas ao uso do solo e aos processos antrópicos envolvidos. Novos atributos poderão ser definidos no decorrer do processo de mapeamento, o qual irá indicar a pertinência e a especificidade de cada um deles.

Tabela 5.5: Atributos relevantes para o mapeamento da suscetibilidade e da aptidão à urbanização

CLASSE	SUB-CLASSE	ATRIBUTOS
GEOMORFOLOGIA		UNIDADES (PADRÕES) DE TERRENO
MORFOMETRIA		AMPLITUDE DO RELEVO DECLIVIDADES CONCENTRAÇÃO DOS FLUXOS ORDEM HIERÁRQUICA CURVATURA E ORIENTAÇÃO DAS VERTENTES
HIDROGRAFIA	ÁGUAS SUPERFICIAIS	ÁREAS DE ACÚMULO DE ÁGUA INFILTRAÇÃO POTENCIAL DO SOLO ESCOAMENTO SUPERFICIAL REDE DE DRENAGEM CORPOS D'ÁGUA DENSIDADE DOS CANAIS
	ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO
MATERIAS INCONSOLIDADOS	UNIDADES DE SOLO	TEXTURA PERFIL DE ALTERAÇÃO
GEOLOGIA ESTRUTURAL E SEDIMENTAR	UNIDADES GEOLÓGICAS	SISTEMA DEPOSICIONAL LITOLOGIA
GEOTÉCNIA	UNIDADES GEOTÉCNICAS	RESISTÊNCIA, CONSISTÊNCIA/COMPACIDADE
EVIDÊNCIA DE PROCESSOS		EROSÕES RECALQUES ÁREAS ATINGIDAS POR INUNDAÇÕES
VEGETAÇÃO		ÍNDICES DE VEGETAÇÃO
USO DO SOLO		TIPOS DE USO INTENSIDADE DE OCUPAÇÃO
PROCESSOS ANTRÓPICOS		MINERAÇÃO ÁREAS DE ATERRO/ENTULHO CANAIS DE DRENAGEM OBRAS QUE INTERFEREM NO FLUXO DA ÁGUAS SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEA

## 5.5 DEFINIÇÃO DAS ESCALAS DE TRABALHO

As escalas de trabalho e dos produtos cartográficos produzidos foram definidas com base nos atributos relevantes, na análise dos dados inventariados e nas indicações de Cerri (1990; 1996), Sobreira & Souza (2012), Diniz & Freitas (2013) e Zuquette e Gandolfi (2004). Ao definir as escalas, objetivou-se a compatibilização entre a finalidade dos mapeamentos e as extensões territoriais mapeadas em cada uma das etapas, tendo como limite as escalas dos dados básicos e/ou a possibilidade de suas melhorias.

A disponibilidade, no país, de dados fonte em escala compatível com o mapeamento geológico-geotécnico aplicado ao planejamento urbano, constitui-se uma das maiores dificuldades para a sua execução. Pelotas, em muitos aspectos, acompanha este cenário; felizmente, diferentemente da grande maioria dos municípios nacionais de pequeno e médio porte, a prefeitura da cidade dispõe de um conjunto relativamente bom de dados cartográficos e informações geográficas. Imagens de satélite de diferentes datas, ortofotos aéreas de alta resolução, mapas digitais, modelos digitais de elevação e de terreno, fazem parte do acervo da prefeitura.

Entretanto, a principal dificuldade reside nas escalas dos mapas disponíveis de pedologia, geologia e geomorfologia, as quais estão abaixo dos valores indicados pela literatura para os mapeamentos de suscetibilidade e aptidão, sendo, pois, essencial a adequação das mesmas. No caso da área de estudo, a melhoria das escalas é facilitada pela estreita relação existente entre os solos, seus substratos e as formas do relevo (XAVIER & BASTOS, 2010). Por conseguinte, o mapeamento das formas do relevo, em escala adequada, é o ponto de partida para melhoria da precisão espacial dos demais mapas. Para tanto, é necessário dispor-se de dados topográficos compatíveis com o nível de detalhes que se pretende alcançar ou, em sentido inverso: é indispensável determinar-se o limite da escala cartográfica da topografia para, a partir desta, ser definida a escala máxima que o mapa geomorfológico pode alcançar.

Os produtos do sensoriamento remoto vêm se constituindo na principal fonte de informações nos processos de mapeamento do relevo, em virtude do fácil acesso a imagens gratuitas de diferentes sensores e datas. Imagens de sensores radar são largamente utilizadas na elaboração de modelos numéricos de elevação e terreno. Disponibilizadas gratuitamente através da internet, as imagens ASTER GDEM, SRTM e SRTM TOPODATA e seus modelos derivados foram objeto de vários estudos para determinação de suas precisões espacial e altimétrica. Em geral, trabalhos como os de Garofalo & Liesenberg (2015), Souza, J (2015), Souza & Matricardi (2013), Landau & Guimarães (2011), Marques *et al.* (2011), Guth (2010) e Forkuor & Maathuis (2012), comparam as informações altimétricas extraídas dos modelos de elevação, em especial o ASTER GDEM e o SRTM, com dados topográficos de outras fontes, indicando as aproximações e desvios entre os dados. Os estudos indicam que a precisão altimétrica dos modelos varia de local para local, sendo necessários exames específicos para cada realidade geomorfológica. Forkour & Maathuis (2012), por exemplo, asseveram que a precisão dos modelos é maior em áreas planas de menor complexidade, como é o caso da área de estudo.

A primeira etapa na definição das escalas de trabalho é a avaliação dos modelos de elevação disponíveis para a área de estudo da etapa geral: SRTM TOPODATA e ASTER. A análise deve ser feita tanto no que se refere à precisão planimétrica, altimétrica e posicional, quanto à adequação dos modelos ao estudo em questão. Para a zona urbana do município, área da etapa intermediária, a Prefeitura de Pelotas disponibilizou um modelo digital de terreno, derivado de perfilamento por laser aerotransportado, o qual possui resolução espacial de 0,50 m e precisão altimétrica relativa em torno de 5 cm. Esse modelo passa a ser chamado de MDT Urbano.

A Diretoria de Serviços Cartográficos - DSG do Exército brasileiro, com base no Decreto Federal 89.817/1984, que estabelece as normas a serem observadas na produção de serviços cartográficos e define o Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC, editou a Norma de Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais de Defesa da Força Terrestre - EB80-N-72.003. A norma visa a atualizar sua antecessora que, segundo Pereira & Nero (2012), não mais atendia às necessidades atuais aplicadas à cartografia digital. Levando em conta os erros inerentes ao processo de medição de pontos de apoio e de fototriangulação, a EB80-N-72.003 estabeleceu a seguinte tabela (Tabela 5.6) de PEC Altimétrica dos pontos cotados, MDT, MDE e MDS, para produção de produtos cartográficos Digitais (DSG, 2016).

Tabela 5.6: Padrão de Exatidão Cartográfica Altimétrica dos Pontos Cotados e do MDT, MDE e MDS para a produção de produtos cartográficos digitais.

PEC-PCD	1:1.000		1:2.000		1:5.000		1:10.000		1:25.000		1:50.000		1:100.000		1:250.000	
	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
A	0,27	0,17	0,27	0,17	0,54	0,34	1,35	0,84	2,70	1,67	5,50	3,33	13,70	8,33	27,00	16,67
B	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,66	2,50	1,67	5,00	3,33	10,00	6,66	25,00	16,66	50,00	33,33
C	0,60	0,40	0,60	0,40	1,20	0,80	3,00	2,00	6,00	4,00	12,00	8,00	30,00	20,00	60,00	40,00
D	0,75	0,50	0,75	0,50	1,50	1,00	3,75	2,50	7,50	5,00	15,00	10,00	37,50	25,00	75,00	50,00

(Fonte: DSG, 2016)

O ponto de partida para a avaliação das precisões planimétrica e altimétrica é a validação ou correção do posicionamento espacial dos modelos. Para tanto, tornam-se necessárias uma ou mais bases de referência, com escala e precisão posicional adequadas. No presente caso optou-se por verificar o posicionamento do modelo de melhor precisão (MDT Urbano) por meio do conjunto de ortofotos digitais do ano 2015 e, a partir deste, o posicionamento dos demais modelos (SRTM e ASTER). Desta forma, a verificação do georreferenciamento foi realizada, em um primeiro momento, para as ortofotos, através do reconhecimento visual da localização de marcos com coordenadas conhecidas, sendo o

principal deles a estação geodésica 92012 da Rede Estadual de GPS (coordenadas obtidas no relatório do IBGE). As ortofotos mostraram-se perfeitamente georreferenciadas, já que o erro obtido ficou abaixo de 0,20 metros. O georreferenciamento do MDT Urbano, por sua vez, deu-se a partir do reconhecimento de feições entre este e a ortofoto e indicou o adequado posicionamento espacial do modelo, com eventuais diferenças visualmente imperceptível para um pixel de 0,50 metros (tamanho do pixel do modelo).

Tendo sido determinado o adequado georreferenciamento do MDT Urbano, este serviu de base para a conferência do posicionamento do MDE ASTER GDEM2 e do MDE SRTM TOPODATA. A resolução espacial de 30 metros de ambos os modelos impede a identificação visual de qualquer feição com medida inferior a esta. Desta forma, como o MDT Urbano possui uma resolução muito acima desta, foram vetorizadas, com base nele, algumas formas de relevo, as quais, posteriormente, foram sobrepostas aos modelos ASTER e SRTM. Foram selecionadas, para vetorização, as transições de relevo bem destacadas nas três imagens, ou seja, aquelas que ocorrem de forma mais abrupta. A sobreposição dos vetores com os modelos ASTER e SRTM demonstra que ambos apresentam-se adequadamente georreferenciados, para sua resolução, conforme Figura 5.21 abaixo.

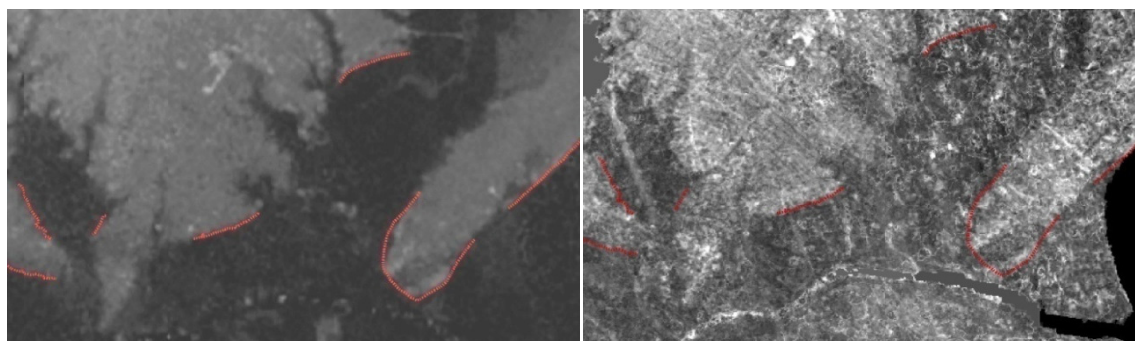


Figura 5.21: Sobreposição de vetores representados a partir do MDT urbano com os modelos SRTM TOPODATA (a esquerda) e ASTER GDEM2 (a direita)

Após a verificação e ratificação do georreferenciamento dos modelos, procedeu-se à avaliação de suas precisões altimétricas e as classificações nas escalas e padrões de precisão estabelecidos na norma EB80-N-72.003 do Exército Brasileiro. Para enquadrar-se em uma das escalas/classes de carta definida pela EB80-N-72.003, o MDT/MDE deve atender a dois requisitos: (i) O Erro Quadrático Médio - EQM das diferenças de altitude, entre o MDT/MDE e os pontos de controle, deve ser menor que o erro padrão da classe/escala; (ii) pelo menos 90% das diferenças de altitude devem ficar abaixo do PEC.

Para a avaliação do MDT Urbano, utilizaram-se 34 pontos de controles, sendo 13 Referências de Níveis - RN pertencentes ao Sistema Geodésico Brasileiro, e 21 marcos topográficos implantados pela Prefeitura no ano de 1995. As coordenadas planas e as cotas altimétricas dos pontos foram obtidas dos relatórios do IBGE e da PMPel; as primeiras no *datum* horizontal SIRGAS2000 e as últimas no *datum* SAD69, ambas no *datum* vertical de Imbituba. Após as reprojeções necessárias, os dados altimétricos dos pontos de controle foram cruzados com as altitudes extraídas do modelo, apresentando erros de altitude cujos parâmetros estatísticos da comparação são apresentados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7: Parâmetros estatísticos do resultado da comparação das altitudes do MDT Urbano e dos pontos de controle

PARÂMETRO	VALOR
Erro médio - EM	0,18
Erro quadrático médio - EQM	0,08
Desvio padrão - DV	0,24
Erro padrão - EP	0,04
Diferença mínima	0,03
Diferença máxima	0,74

Extraído os 10% de pontos com as maiores diferenças de altitudes, nos 90% de pontos restantes a diferença mais significativa é de 0,41 metros, o que permite enquadrar o MDT na Classe A da escala 1:5.000 ou Classe B da escala 1:2:000 da EB80-N-72.003, a qual corresponde à Classe A da Escala 1:2.000 do Decreto 89.817/1984. Para classificação dos MDE ASTER GDEM2 e SRTM TOPODATA, foram acrescentados mais cinco pontos de controle, totalizando 39. O cruzamento das altitudes dos pontos de controle, com as altitudes extraídas dos MDE ASTER GDEM2 e SRTM TOPODATA, para as mesmas coordenadas, apresentaram erros cujos parâmetros estatísticos constam da Tabela 5.8.

Tabela 5.8: Parâmetros estatísticos do resultado da comparação das altitudes dos MDE ASTER GDE2 E SRTM TOPODATA e dos pontos de controle

PARÂMETRO	ASTER GDEM2	SRTM TOPODATA
Erro médio - EM	-1,03	-0,92
Erro quadrático médio - EQM	17,05	2,98
Desvio padrão - DV	4,10	1,51
Erro padrão - EP	0,64	0,24
Diferença mínima	0,09	0,01
Diferença máxima	11,02	5,11

Repetindo-se o procedimento realizado para o MDE Urbano, e extraídos os 10% de pontos com as maiores diferenças de altitudes de ambos os modelos, nos 90% de pontos restantes a maior diferença fica em 7,57 m para o ASTER e 3,05 m para o SRTM. Tais valores, em conjunto com os respectivos EQM de cada modelo, resultam na melhor classificação para o MDE ASTER apenas como Classe B, na escala 1:250.000 e na melhor classificação para o SRTM como Classe A, na escala 1:50.000 e classe B, na escala 1:25.000 da EB80-N-72.003, a qual corresponde à Classe A, na mesma escala, do Decreto 89.817/1984.

Reputa-se o baixo resultado atingido pelo MDE ASTER à elevada rugosidade do modelo, decorrente da maior resolução nativa do sensor ASTER, que atinge até 30 m. Desta forma, em comparação com o sensor do SRTM, o qual possui 90 m de resolução nativa, o ASTER é capaz de distinguir um número bem maior de feições, ficando, assim, sujeito à maior influência das edificações e dos maciços arbóreos de maior porte. Nas imagens radar do SRTM, ao contrário, as diferenças de altura causadas por tais elementos são homogeneizadas, resultando em um modelo mais suavizado que representa melhor a variação de relevo em áreas planas, como a de estudo. Também é possível perceber uma melhora significativa entre o modelo SRTM original, de 90 metros de resolução espacial, e o resultado do refinamento efetuado pelo INPE, através do projeto TOPODATA, que resultou em um MDE com 30 metros de resolução.

Importa ainda resaltar que, provavelmente, o elevado EQM alcançado pelo modelo ASTER deve-se à presença de edificações e/ou vegetação de maior porte nas proximidades dos pontos de controle. Sendo assim, com um número mais elevado de pontos de controle a tendência seria da diminuição do EQM. De toda a forma, o modelo SRTM TOPODATA da área de estudo representa, visualmente, de forma mais adequada a variação de relevo, o que, independente da baixa acurácia altimétrica do MDE ASTER, já seria um importante fator para sua eleição. A Figura 5.22 apresenta a comparação visual entre o SRTM, SRTM TOPODATA e o ASTER GDEM2, para uma porção da área de estudo.

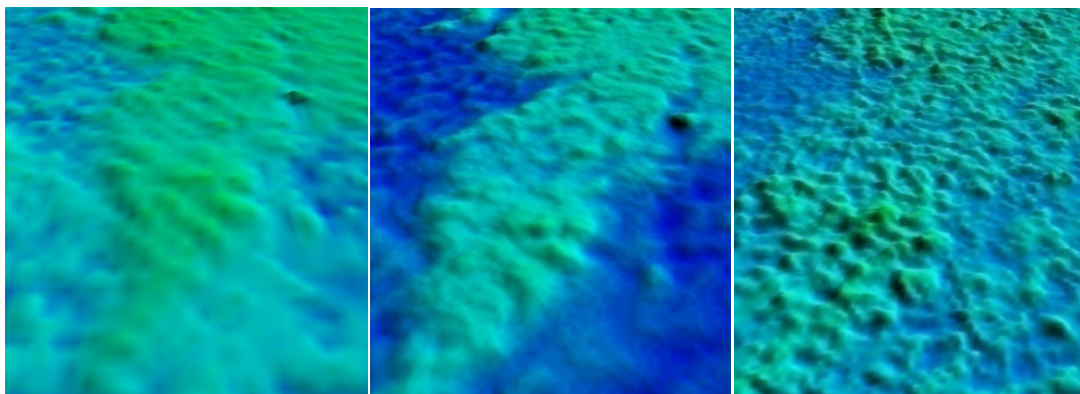


Figura 5.22: Comparação visual entre a representação do relevo de parte da área de estudo através dos modelos SRTM (à esquerda), SRTM TOPODATA (ao meio) e ASTER GDEM2 (à direita)

Nesse sentido, depreende-se que o MDE SRTM TOPODATA evidencia-se como o que melhor representa o relevo da área de estudo, possuindo precisão altimétrica e posicional suficientes para a elaboração de cartas: (i) Classe A, na escala 1:50.000, EB80-N-72.003; (ii) classe B, na escala 1:25.000, EB80-N-72.003; (iii) Classe A, na escala 1:25.000, Decreto 89.817/1984. Por sua vez, o MDT Urbano alcança: (i) Classe A, na escala 1:5.000, EB80-N-72.003; (ii) Classe B, na escala 1:2.000, EB80-N-72.003; (iii) Classe A, na escala 1:2000, Decreto 89.817/1984.

Sendo assim, visando a atender os requisitos da EB80-N-72.003 para mapas da classe A, e seguindo-se as indicações de Cerri (1990; 1996), Diniz & Freitas (2013) e Zuquette & Gandolfi (2004), definiram-se as escalas de mapeamento conforme a Tabela 5.9: Escalas das etapas geral e intermediária. Importante destacar que, embora o MDT Urbano seja compatível como a escala 1:5.000 (EB80-N-72.003), o mapeamento da etapa intermediária em escala maior que 1:25.000, como recomendado por Sobreira & Souza (2014), esbarra no limite de aumento da escala da pedologia, sem que sejam precisos extensos levantamentos e prospecções de campo (*in situ*).

Tabela 5.9: Escalas das etapas geral e intermediária do mapeamento

ETAPA	PRINCIPAIS CARTOGRAMAS	ESCALA
Geral	Suscetibilidade regional	1:50.000
Intermediária	Estimativa de unidades geotécnicas; Suscetibilidade urbana; Aptidão à urbanização aplicada ao planejamento urbano	1:25.000



## Capítulo 6 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA - ETAPA 2: PREPARAÇÃO DOS DADOS

---

O presente capítulo aborda a preparação dos dados para o mapeamento geotécnico, na qual as informações espaciais prospectadas na etapa inicial passaram por análise, processamento e cruzamento entre si, com vista à compatibilização espacial e escalar, bem como a geração de dados derivados. No Capítulo também são tratados os temas referentes a extração de parâmetros morfométricos referentes às bacias hidrográficas e a tabulação e sistematização dos dados das sondagens SPT.

### 6.1 ELABORAÇÃO DO MAPA GEOMORFOLÓGICO

Conforme relatado no Capítulo 5, devido à estreita relação entre as formas do relevo e os demais temas de análise, bem como a sua importância relativa nos trabalhos de mapeamento geotécnico, em especial nos países de clima tropical (DINIZ, 2013), as informações geomorfológicas constituem-se a principal base de integração dos demais dados. Por consequência, a elaboração do mapa de unidades geomorfológica, em escala adequada, bem como a extração de dados morfométricos do MDE SRTM TOPODATA, constituem-se na primeira etapa da preparação dos dados.

O mapa geomorfológico foi elaborado conforme a sequência apresentada na Figura 6.1, a qual é um detalhamento do esquema presente na Figura 4.4 do capítulo sobre a metodologia. Seguindo a metodologia proposta, o mapa de compartimentação de relevo foi elaborado com base em mapas existentes (Tabela 6.1), os quais foram georreferenciados e vetorizados em software CAD. Após, em ambiente SIG, os vetores foram cruzados entre si

e separados em três grupos: (i) classes e limites convergentes<sup>11</sup>; (ii) classes convergentes e limites divergentes; (iii) classes divergentes e limites convergentes. Os três grupos de vetores foram sobrepostos às ortofotos históricas (dos anos 1959, 1965 e 2015), as imagens de satélite (dos anos de 2013 a 2015), ao MDE SRTM, ao MDT Urbano, ao relevo sombreado e à base cartográfica vetorial.

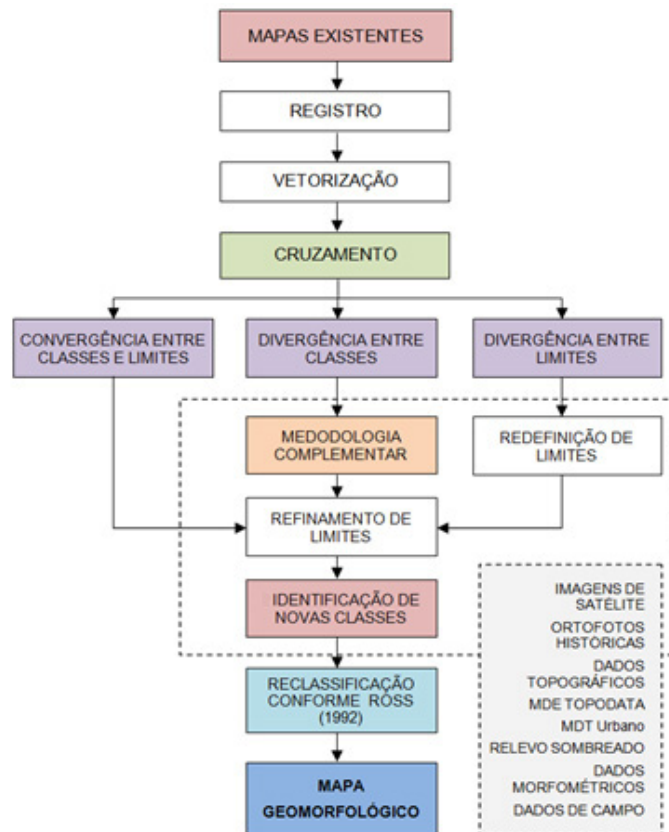


Figura 6.1: Esquema de elaboração do mapa geomorfológico

O primeiro grupo (convergência entre classes e limites) teve seus limites ajustados com base nos dados citados. Para o segundo grupo (convergência entre classes e divergência e entre limites) foi também oportuno, para uma melhor interpretação do relevo, levantamento de campo em locais específicos. Por fim, para os locais onde havia convergência entre os

<sup>11</sup> Utiliza-se o termo "convergentes" pois, em função das diferentes escalas e níveis de precisão dos mapas geomorfológicos, não há uma total "coincidência" espacial entre os limites. O termo é igualmente utilizado em relação às classes, pois também não há total coincidência entre suas nomeclaturas.

limites, mas divergência entre as classificações contidas nos diferentes mapeamentos pré-existentes, foi aplicado subsidiariamente o método de Galdino da Silva *et al.* (2015).

Tabela 6.1: Mapas geomorfológicos utilizados no mapeamento dos compartimentos de relevo

MAPA	AUTOR	ANO	ESCALA
Mapa de Geomorfologia e Solos do Município de Pelotas	Cunha & Silveira	1996	1:100.000
Mapa Geológico-Geomorfológico do Município de Pelotas	Marth <i>et al.</i>	2008	1:100.000
Mapa Geológico-Geomorfológico da poção média da planície costeira do Rio Grande do Sul	Tagliani	2002	1:100.000
Mapa Geomorfológico da Planície Lagunar sob a Influência do Canal São Gonçalo	Silva & Simon	2015	Não informada
Mapa de Padrões de Formas Semelhantes de Relevo do Município de Pelotas - Ocorrências Centro-Nordeste	Silva & Rehbein	2015	1:145.000
Mapa da Geologia e Geomorfologia da Planície Aluvial do Canal São Gonçalo. Pelotas	Villwock	1984	1:124.000
Mapa geomorfológico - Folhas Pedro Osório (SH.22Y-C) e Pelotas (SH.22.Y-D)	IBGE	2003	1:250.000

O método de Galdino da Silva *et al.* (2015), o qual se utiliza da associação de diferentes padrões de relevo aos fatores morfométricos básicos de amplitude e declividade do relevo, foi aplicado apenas para os compartimentos do planalto, objetivando, tão somente, a suas classificações. Para tanto, foram utilizados, como referência, os valores adotados por Castro Júnior *et al.* (2006), os quais são uma adaptação dos utilizados pelo IPT (1981 apud CASTRO JÚNIOR *et al.*, 2006) na elaboração do Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (Tabela 6.2).

Tabela 6.2: Classificação das formas de relevo. Modificado de Castro Júnior *et al.* (2006)

AMPLITUDE LOCAL (m)	DECLIVIDADE PREDOMINANTE (%)	FORMAS DE RELEVO
<100	5 a 10	Colina
	> 15	Morrote
100 a 300	5 a 15	Morro com encosta suave
	> 15	Morro

O primeiro procedimento, na aplicação do método, refere-se à classificação das declividades, a qual é feita por bacia hidrográfica. Diante disso, fez-se necessário, de

imediatamente, a delimitação das bacias na escala adequada. Para tal tarefa, foi utilizado o MDE SRTM e testados três conjuntos de ferramentas de análise e extração de dados hidrológicos no software ArcGis: o ArcHydro, desenvolvido pelo ESRI; o TauDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models), desenvolvido pelo grupo de pesquisas hidrológicas da Utah State University; e o Spatial Analyst, nativo do ArcGis. Todas as ferramentas apresentaram resultados semelhantes para a área de estudo, os quais foram comparados com a delimitação de bacias publicadas por Saraiva & Polidori (2007) e Pelotas (2008). Os algoritmos de determinação dos fluxos hídricos e delimitação automática das bacias produziram um resultado muito próximo aos mapeamentos pré-existentes, mas, como esperado, não reconheceram pequenas alterações nos fluxos hídricos e limites das bacias provocadas pela ação antrópica. Por esse motivo, a delimitação inicial foi ajustada com base no MDT Urbano, na rede de drenagem e no conjunto de ortofotos de 2015, de forma a incluir uma pequena mudança nos limites entre as bacias do Arroio Fragata e Santa Bárbara e o surgimento da bacia urbana do Arroio Pepino, ocorrida em função da canalização e desvio dos trechos finais dos dois últimos cursos d'água. A Figura 6.2 apresenta a delimitação das bacias hidrográficas pertencentes à área de estudo.

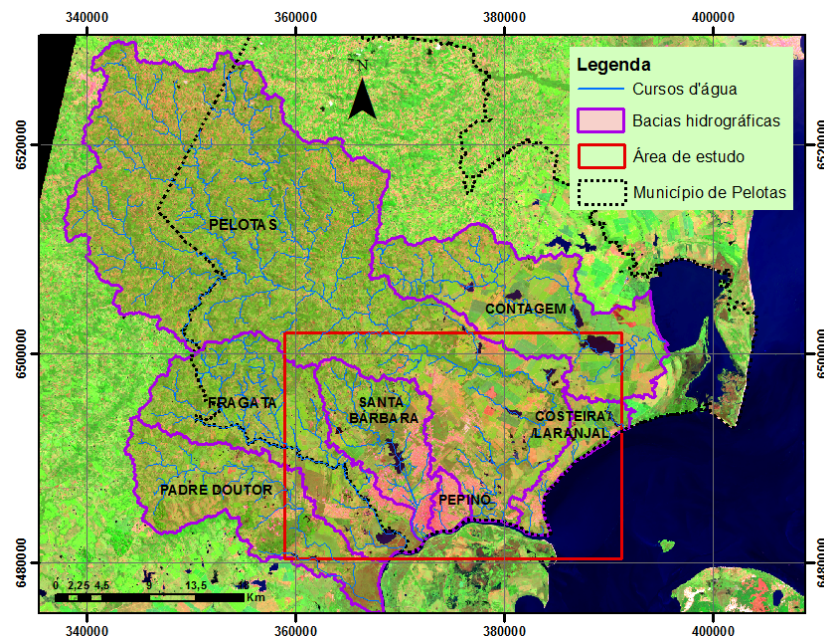


Figura 6.2: Poligonais das bacias hidrográficas (em magenta) que fazem parte da área de estudo (em vermelho), sobre composição colorida R7G5B3 de imagem do satélite Landsat 8 do ano 2016

Em comparação com os mapeamentos de Saraiva & Polidori (2007) e Pelotas (2008), percebe-se que a delimitação apresenta-se espacialmente mais detalhada e precisa (melhoria de escala) e corrige erros no que se refere ao limites entre as bacias dos arroios Pepino e Pelotas.

Seguindo a aplicação do método de Galdino da Silva *et al.* (2015), a classificação das amplitudes de relevo teve como referências altimétricas os pontos de menor cota à jusante do curso d'água principal das bacias que fazem parte da área em estudo. As altitudes de referência foram subtraídas, por bacia, das cotas do MDE TOPODATA, dando origem ao modelo de referência, o qual foi objeto de fatiamento e reclassificação em duas classes de amplitude: 0 a 100 m e 100 a 300 m. Os processos de fatiamento e reclassificação foram executados igualmente para o raster representativo das declividades, conforme as classes apresentadas na Tabela 6.2. Após, os rasters reclassificados foram cruzados, por meio de álgebra de mapas, resultado no mapa apresentado na Figura 6.3. O mapa permite detectar o predomínio de morros com encostas suaves no Planalto Residual e relevo composto, na sua maior parte, por colinas no Planalto Rebaixado Marginal.

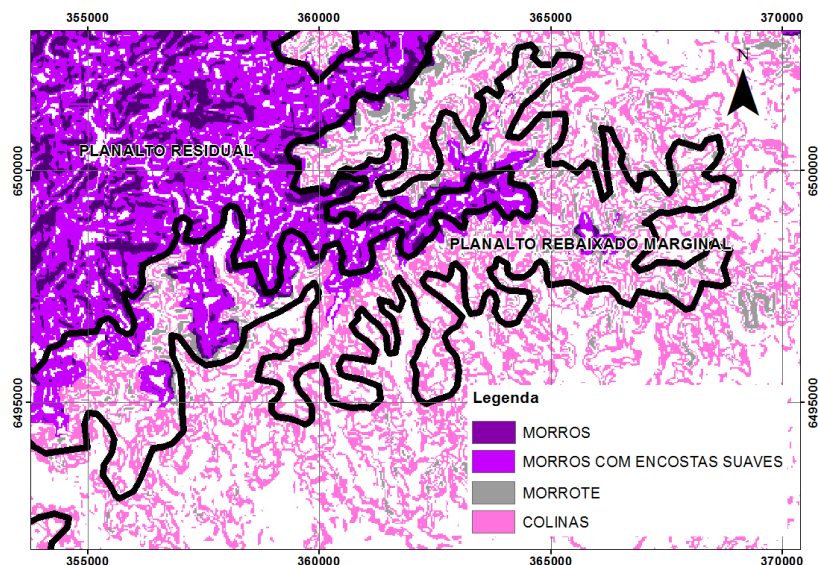


Figura 6.3: Resultado da aplicação da metodologia de Galdino da Silva *et al.* (2015) para os compartimentos de relevo do Planalto Residual e do Planalto Rebaixado Marginal

Após o ajuste dos limites das classes cartográficas, com base nos mapas pré-existent, efetuou-se o fatiamento do MDE SRTM em diferentes classes de baixa amplitude de relevo, as quais foram cruzadas com o fatiamento das declividades, também em classes. Tal procedimento tentou identificar, com base nas imagens e no relevo sombreado, formas não mapeadas do relevo da planície costeira, o que não ocorreu. A limitação da precisão altimétrica do modelo de elevação, bem como a prevalência de declividades muito baixas (0 a 2%) podem ser indicadas como fatores restritivos da análise.

Por fim, os diferentes compartimentos de relevo mapeados foram organizados e classificados seguindo a proposta metodológica de Ross (1992), a qual fundamenta-se,

teórica e metodologicamente, nas concepções de Penck (1953), que entende as formas atuais de relevo como produto do antagonismo dos processos endógenos e exógenos, e de Gerasimov (1946 apud ROSS, 1992) e Mecerjakov (1968 apud ROSS, 1992). Os dois últimos, baseados na teoria de Penck, desenvolvem os conceitos de morfoestrutura e morfoescultura, as quais representam os dois níveis (táxons) primários de compartimentação do relevo. Ross (1992) complementa a taxonomia do relevo com outros quatro níveis :

- a) 3º táxon - Unidades morfológicas: corresponde às formas de relevo que em uma observação aérea distante apresentam o mesmo aspecto fisionômico no que se refere à rugosidade topográfica ou dissecação do relevo (ROSS, 1992);
- b) 4º táxon - Tipos de formas de relevo: refere-se a cada uma das diferentes formas de relevo contidas nas unidades morfológicas (ROSS, 1992). Segundo Estevam Silva & Rehbein (2015), caracterizam-se por serem de agradação (planícies fluviais, lacustres e palustres, terraços) e de degradação (colinas, morros, cristas);
- c) 5º táxon - Tipos de vertentes: corresponde aos diferentes tipos e setores de vertentes. São dimensões menores do relevo e, por consequência, possuem gênese e idades mais recentes (ROSS, 1992);
- d) 6º táxon - Formas de processos atuais: refere-se às forma de relevo resultantes de processos geomórficos atuais e da ação antrópica (ROSS, 1992).

No contexto da metodologia proposta, o mapeamento geomorfológico objetiva, especialmente, o delineamento de formas de relevo que estão diretamente associadas à ocorrência dos diferentes tipos de solos e seus substratos geológicos. Serve, assim, como base espacial para o mapeamento da geologia e da pedologia. Por conseguinte, a classificação das feições geomorfológicas até o 4º táxon da metodologia de Ross (1992) foi suficiente.

A Tabela 6.3 apresenta a classificação das unidades de relevo, os respectivos períodos geológicos, a área ocupada pela unidade dentro área de estudo e dados morfométricos básicos de declividade e amplitude local. As siglas foram adaptadas de IBGE (2009) e identificam as unidades como modelados de dissecação (D) ou acumulação (A). A Figura 6.4 mostra espacialmente o resultado do mapeamento.

Tabela 6.3: Classificação taxonômica, período geológico e dados morfométricos das classes de relevo mapeadas

1º TAXON	2º TAXON	3º TAXON	4º TAXON		PERÍODO GEOLÓGICO	ÁREA (km²)	%	DECLIVIDADE		AMPLIT LOCAL (m)
UNIDADES MORFO-ESTRUTURAIS	UNIDADES MORFO-ESCULTURAIS	UNIDADES MORFOLOGICAS	FORMAS DE RELEVO					MÉDIA (%)	DESV PADR	
EMBASAMENTOS EM ESTILOS COMPLEXOS	PLANALTO SUL-RIOGRANDENSE	PLANALTO RESIDUAL CANGUÇU-CAÇAPAVA DO SUL	<b>Do</b>	MORROS COM ENCOSTAS SUAVES	PRÉ-CAMBIANO	8,89	1,42	11,25	4,96	95 - 185
		PLANALTO REBAIXADO MARGINAL	<b>Dc</b>	COLINAS	PRÉ-CAMBIANO	27,91	4,46	8,70	4,37	50 - 120
DEPÓSITOS SEDIMENTARES QUATERNÁRIOS	PLANÍCIE CONTINENTAL	PLANÍCIE ALÚVIO-COLUVIONAR	<b>Arc</b>	DEPÓSITOS DE COLÚVIOS	TERCIÁRIO	74,00	11,83	5,60	4,00	25 - 85
			<b>Apf</b>	DEPÓSITOS FLUVIAIS	PLEISTOCENO - HOLOCENO	111,82	17,88	2,74	2,46	1,5 - 25
			<b>Atf-a</b>	DEPÓSITOS DE TERRAÇO ALUVIAL ALTO	PLIOCENO	219,84	35,15	2,56	2,25	7 - 35
			<b>Atf-b</b>	DEPÓSITOS DE TERRAÇO ALUVIAL BAIXO	PLEISTOCENO - HOLOCENO	20,70	3,31	2,78	3,12	7 - 15
	PLANÍCIE COSTEIRA INTERNA	PLANÍCIE LAGUNAR	<b>Ade</b>	DEPÓSITOS EÓLICOS	HOLOCENO	1,82	0,29	3,50	2,50	4 - 20
			<b>Apfi</b>	DEPÓSITOS DE PLANÍCIE FLÚVIO-LACUSTRE	HOLOCENO	44,74	7,15	1,83	1,43	0 - 5
			<b>Aplg-b</b>	DEPÓSITOS DE PLANÍCIE LAGUNAR BAIXA	HOLOCENO	11,40	1,82	1,86	2,09	0,5 - 10
			<b>Aplg-m</b>	DEPÓSITOS DE PLANÍCIE LAGUNAR MÉDIA	HOLOCENO	47,37	7,57	1,90	2,37	4 - 12
			<b>Aplg-a</b>	DEPÓSITOS DE PLANÍCIE LAGUNAR ALTA	PLEISTOCENO	13,19	2,11	2,10	2,06	10 - 15
			<b>Aplg-cp</b>	DEPÓSITOS DE CRISTAS E PRAIAS LAGUNARES	HOLOCENO	19,11	3,06	2,29	1,89	0,50 - 5
<b>Aplg-pt</b>	DEPÓSITOS PALUDAIS. TURFEIROS. BANHADOS DE PLANÍCIE	HOLOCENO	22,74	3,64	1,62	1,34	0 - 1			

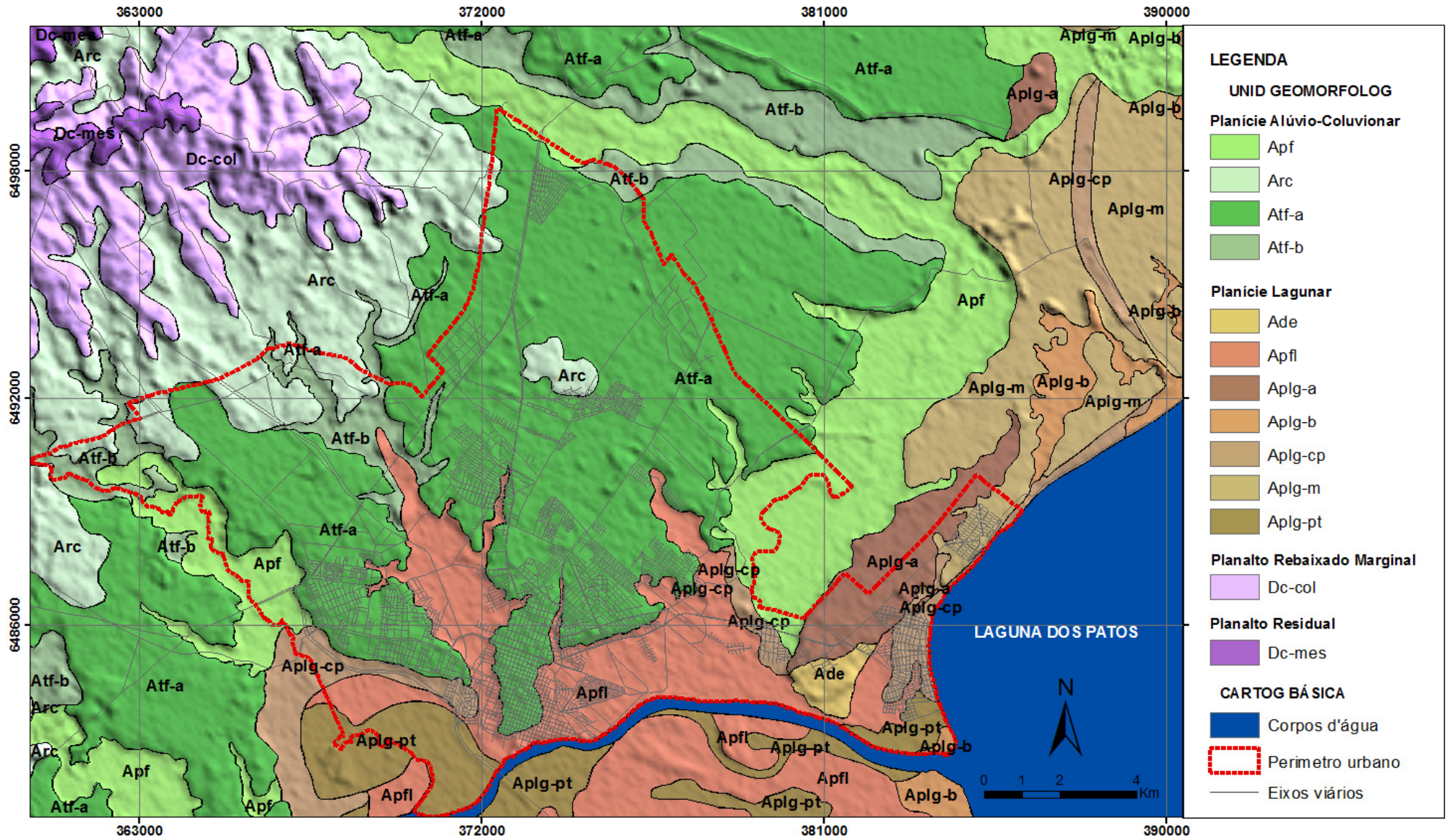


Figura 6.4: Mapa de Unidades de Relevo (Geomorfológico)



A unidade morfoestrutural dos **Embasamentos em Estilo Complexo**, porção Sul-Sudeste, ou Cinturões Móveis Neoproterozoicos (IBGE, 2006), corresponde a terrenos formados, essencialmente, por rochas pré-cambianas que conformam o embasamento cristalino. Trata-se de corpos rochosos altamente metaformizados, falhados e dobrados, cuja complexidade geológica evidencia-se, no relevo, através de uma intensa dissecação geral, apresentando uma heterogeneidade de modelados que compõem o Planalto Sul-Riograndense (SEMA, 2001). Na área de estudo, essa unidade morfoestrutural encerra uma unidade morfoescultural: a do Planalto Sul-Riograndense.

A unidade morfoescultural do **Planalto Sul-Riograndense** é limitada a sudeste pela planície costeira e a norte e noroeste pelas depressões periférica do Rio Paraná (HERRMAN & ROSA *apud* SEMA, 2001). A complexidade estrutural geológica pré-cambiana caracteriza uma paisagem que apresenta desde relevos intensamente dissecados até a ocorrência de áreas fracamente dissecadas, em posição de topo. Conforme SEMA (2001), a justaposição de camadas dobradas de diferentes resistências torna-se evidente no relevo através da ocorrência de saliências que configuram marcas de enrugamento, cristas e barras de relevo dobrado. Seus solos são, em geral, superficiais, encontrando-se rochas expostas ao lado de pavimentos dentríticos e, nas encostas de maior declive, matações. As feições geomorfológicas conformam colinas, interflúvios tabulares, com afloramentos rochosos e, subsidiariamente, cristas. (SEMA, 2001).

A unidade morfoescultural do Planalto Sul-Riograndense compreende, na área de estudo, duas unidades morfológicas: a do Planalto Residual Canguçu-Caçapava do Sul e a do Planalto Rebaixado Marginal. A unidade morfológica do **Planalto Residual Canguçu-Caçapava do Sul** caracteriza-se por apresentar um relevo dissecado, em formas de morros, com encostas suaves e topos convexos, densidade de drenagem fina e o aprofundamento das incisões muito fraco (IBGE, 2003). A unidade morfológica do **Planalto Rebaixado Marginal**, por sua vez, apresenta um relevo conformado por colinas de topos convexos, de dissecação homogênea, densidade de drenagem fina, aprofundamento das incisões muito fraco e terrenos com forte predisposição a erosão (IBGE, 2003).

A unidade morfoestrutural dos **Depósitos Sedimentares Quaternários** compreende superfícies amplas, geralmente planas e de baixa altitude, resultantes da acumulação de sedimentos arenosos e areno-argilosos, depositados em ambientes marinhos, fluviais, lagunares, eólicos e colúvio-aluvionares. Fazem parte dos Depósitos Sedimentares Quaternários, duas unidades morfoesculturais: a Planície Continental e a Planície Costeira Interna.

A **Planície Continental** e a **Planície Costeira Interna** são conformadas por ambientes deposicionais de fácies sedimentares de natureza predominantemente clástica-terrígena, acumuladas, durante o Cenozóico, como produtos de diferentes processos de deposição em ambientes pertencentes, essencialmente, a dois tipos de sistemas deposicionais siliciclásticos: (i) sistema de leques aluviais; (ii) sistema do tipo laguna-barreira (VILLWOCK & TOMAZELLI, 2007).

O sistema de leques aluviais corresponde à unidade morfológica da **Planície Alúvio-Coluvionar** e abarca o conjunto de fácies sedimentares resultantes de transporte de material associados aos ambientes de encosta do Escudo Sul-Riograndense. Tais ambientes incluem, em sua parte proximal, depósitos resultantes de processos prevalentemente gravitacionais e que, de forma gradual, convertem-se em depósitos transportados e deposições em meio aquoso (aluviões), na porção distal (VILLWOCK & TOMAZELLI, 2007). No município de Pelotas, a geometria em leque não é observável e as fácies distribuem-se em forma de rampa suave, desde a região proximal até a distal, fisiografia que Villwock & Tomazelli (2007) atribuem tanto à existência de numerosos pontos de afluxos sedimentar, quanto ao efeito da erosão e do retrabalhamento em ambientes fluvial e marinho.

O sistema deposicional do tipo laguna-barreira corresponde à unidade morfológica da **Planície Lagunar** e envolve, na área de estudo, a existência interligada de dois subsistemas deposicionais geneticamente relacionados: (i) o subsistema lagunar e (ii) o subsistema de barreiras. Conforme Villwock (1984), a evolução paleogeográfica desses ambientes foi controlada por eventos sucessivos de transgressão-regressão, a partir do grande evento transgressivo miocênico. O subsistema lagunar engloba um complexo de ambientes de deposição que se desenvolveram no espaço de retrobarreira correspondente a toda uma região baixa situada entre a barreira e os terrenos continentais alúvio-coluvionares. O subsistema de barreiras, por sua vez, envolve terraços, praias arenosas e dunas eólicas adjacentes. (VILLWOCK & TOMAZELLI, 2007).

A seguir, são apresentadas e sucintamente descritas, com base em Cunha & Silveira (1996), as formas de relevo pertencentes a cada uma das unidades morfológicas presentes no mapa geomorfológico.

**Unidade Do - Morros com encostas suaves:** Apresenta relevo irregularmente montanhoso com uma drenagem densa e rasa.

**Unidade Dc - Colinas:** Possui relevo ondulado, com declividades locais variando de 4 a 13%, contendo algumas partes irregulares com declives acentuados, mas composto, em sua grande maioria, por colinas com topos côncavos e drenagem aberta constituída, inicialmente por depressões úmidas que, aos poucos, tornam-se abertas e dendrítica.

**Arc - Depósitos de colúvios:** Conformam áreas com um relevo muito suavemente ondulado, com declividades locais entre 1 e 9% e inclinações levemente côncavas em boa parte da área. A superfície plana das áreas mais elevadas da unidade é relativamente extensa e contém pequenas lagoas rasas. A drenagem padrão é inicialmente densa e subcircular.

**Unidade Apf - Depósitos fluviais:** Ocorrem junto às partes pouco movimentadas e na foz dos cursos d'água. Os terrenos são inundados no inverno e, devido à drenagem superficial impedida, permanecem úmidos durante a maior parte do ano. Embora possa ocorrer, em pequenas partes, um mesorrelevo formado por antigos canais fluviais, em geral, os terrenos são completamente planos. Os sedimentos, na sua maior parte arenosos, podem aparecer cobertos por uma camada de turfa de idade recente.

**Unidade Atf-a - Depósitos de terraço aluvial alto:** Compõem a faixa sedimentar de maior dimensão ao redor da Laguna dos Patos, formada por terrenos planos que se inclinam suavemente na direção desta (inclinações entre 0,5 a 1 m/km) e que estão bem acima do nível de inundação dos rios e da laguna. Os terrenos possuem um mesorrelevo formado por pequenos riachos fósseis, parcialmente colmatados, e pequenos olhos d'água, bem como antigas e alongadas depressões de drenagem obstruídas por sedimentos.

**Unidade Atf-b - Depósitos de terraço aluvial baixo:** Ocorrem ao longo do Arroio Pelotas, no seu baixo curso. Apesar de não serem áreas húmidas, são suscetíveis inundações quando das grandes precipitações. As depressões, comuns nos depósitos de terraço aluvial alto, são mais evidenciadas, formando canais ou pequenas lagoas (olhos d'água) maiores e mais profundas.

**Unidade Ade - Depósitos eólicos:** Situam-se próxima ao encontro da desembocadura do Canal São Gonçalo, na Laguna dos Patos, e conforma um relevo enrugado, facilmente modificável pela ação do vento.

**Unidade Apfl - Depósitos de planície flúvio-lacustre:** Conformam a parte principal da planície de inundação do Canal São Gonçalo, composta por terrenos de baixa altitude (0 a 5 m) com pouco ou nenhum mesorrelevo. Os terrenos, inundados no inverno e secos nos

verão, são compostos por sedimentos de época recente a sub-recentes, depositados, em grande parte, sob condições de sedimentação em água salobra.

**Unidade Aplg-b - Depósitos de planície lagunar baixa:** Formam áreas marginais a Laguna dos Patos que ficam superficialmente e constantemente alagadas. Seus terrenos são planos, mas apresentam algum meso e microrrelevo.

**Unidade Aplg-m - Depósitos de planície lagunar média:** Formam extensa área sedimentar plana, ao redor da Laguna dos Patos e da Lagoa Pequena, situada entre os depósitos de planície lagunar alta, mais antigos, e os depósitos fluviais do Arroio Pelotas, de sedimentos recentes (Holoceno). Estão separados dos depósitos de planície lagunar alta por uma escarpa de declives suaves. Já a transição para os depósitos fluviais é bem mais gradual. São terrenos essencialmente planos com meso relevo fraco e micro relevo praticamente imperceptível.

**Unidade Aplg-a - Depósitos de planície lagunar alta:** Possuem uma topografia segmentada que condiciona um mesorrelevo mais irregular em relação aos demais depósitos de planície lagunar, causado, principalmente, por depressões que formam pequenas lagoas (olhos d'água) e pela erosão do vento em períodos passados, a qual constitui dunas antigas não totalmente aplainadas.

**Unidade Aplg-cp - Depósitos de cristas e praias lagunares:** São formados por terrenos arenosos, de origem recente, que formam faixas de terras junto a Laguna dos Patos e às embocaduras dos cursos d'água principais. São caracterizados pela presença de pequenas elevações que ocorrem paralelamente a pequenas depressões. Foram formados, aparentemente, no Holoceno Antigo, quando a carga de sedimentos dos rios era insignificante, a Laguna estava

**Unidade Aplg-pt - Depósitos paludais. Turfeiras. Banhados de planície:** Compõem a partes mais baixas das planícies lacustres. Trata-se de terrenos profundamente inundados no inverno e superficialmente inundados no verão, com pouco ou nenhum mesorrelevo. Pode, isto sim, haver irregularidade da superfície abaixo das turfas. São formados por sedimentos cobertos por uma camada de turfa de espessura variável.

## 6.2 ELABORAÇÃO DO MAPA GEOLÓGICO

O mapa geológico da área de estudo foi elaborado com base em cinco documentos pré-existentes, quatro cartográficos: (i) mapa geológico-geomorfológico do município de Pelotas

(MARTH *et al.*, 2008); (ii) mapa geológico-geomorfológico da porção média da planície costeira do Rio Grande do Sul (TAGLIANI, 2002); (iii) mapa geológico-geomorfológico da planície aluvial do Canal São Gonçalo (VILLWOCK, 1984); (iv) mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul (SANTOS *et al.*, 1989); e um cartográfico/descritivo: estudo dos solos do município de Pelotas (CUNHA & SILVEIRA, 1986).

Os mapas em formato analógico foram georreferenciados e vetorizados, em ambiente CAD. Posteriormente, todos os mapas foram cruzados entre si, em ambiente SIG, e sobrepostos às unidades geomorfológicas (anteriormente mapeadas), aos modelos numéricos de elevação e terrenos e ao relevo sombreado, os quais serviram como base de análise e definição de limites entre as unidades geológicas. Foram mapeadas 11 unidades geológicas para a área de estudo, conforme Tabela 6.4 e a Figura 6.5. As siglas adotadas para cada unidade referem-se diretamente às suas fácies e são compostas por letras minúscula, seguindo a metodologia de Dias (1989), para a elaboração do mapa de estimativa de unidades geotécnicas.

Tabela 6.4: Unidades geológicas mapeadas

<b>SIGLA</b>	<b>FÁCIES</b>	<b>GEO-CRONOLOGIA</b>	<b>LITOLOGIA</b>	<b>ÁREA (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
<b>gdf</b>	GRANITO DOM FELICIANO	PRÉ-CAMBIANO	SIENOGRANITO	8,89	1,42
<b>gpm</b>	GRANITO PINHEIRO MACHADO	PRÉ-CAMBIANO	GNAISSE GRANÍTICO, GNAISSE GRANODIORÍTICO, PARAGNAISSE	44,71	7,15
<b>da</b>	DEPÓSITOS ALUVIAIS	QUATERNÁRIO /HOLOCENO	AREIA, AREIA ARCOSEANA, ARGILA, CASCALHO, C. POLIMÍTICO, SILTE	123,66	19,77
<b>dca</b>	DEPÓSITOS COLÚVIO-ALUVIAIS	QUATERNÁRIO/PLEISTOCENO	AREIA, CASCALHO, SEDIMENTOS ELÚVIO-COLUVIONAR, LATERITA	80,65	12,90
<b>dla</b>	DEPÓSITOS DE LEQUES ALUVIAIS	QUATERNÁRIO/PLEISTOCENO	AREIA, SILTE	195,01	31,20
<b>dbp2</b>	DEPÓSITOS DE BARREIRAS PLEISTOCÊNICAS 2	QUATERNÁRIO/PLEISTOCENO	AREIA	37,85	6,05
<b>dib3</b>	DEPÓSITOS LAGUNAR DE BARREIRAS 3	QUATERNÁRIO/PLEISTOCENO	AREIA	22,70	3,63
<b>de</b>	DEPÓSITOS EÓLICOS	QUATERNÁRIO/PLEISTOCENO	AREIA	1,82	0,29
<b>dpcl</b>	DEPÓSITOS DE PRAIAS E CRISTAS LAGUNARES	QUATERNÁRIO/HOLOCENO	AREIA	22,31	3,57
<b>dpfl</b>	DEPÓSITOS DE PLANÍCIE FLÚVIO-LACUSTRE	QUATERNÁRIO/HOLOCENO	AREIA, SILTE	54,20	8,67
<b>dpt</b>	DEPÓSITOS PALUDAIS E TURFEIROS	QUATERNÁRIO/HOLOCENO	AREIA, ARGILA, DIATOMITO, SILTE	33,46	5,35

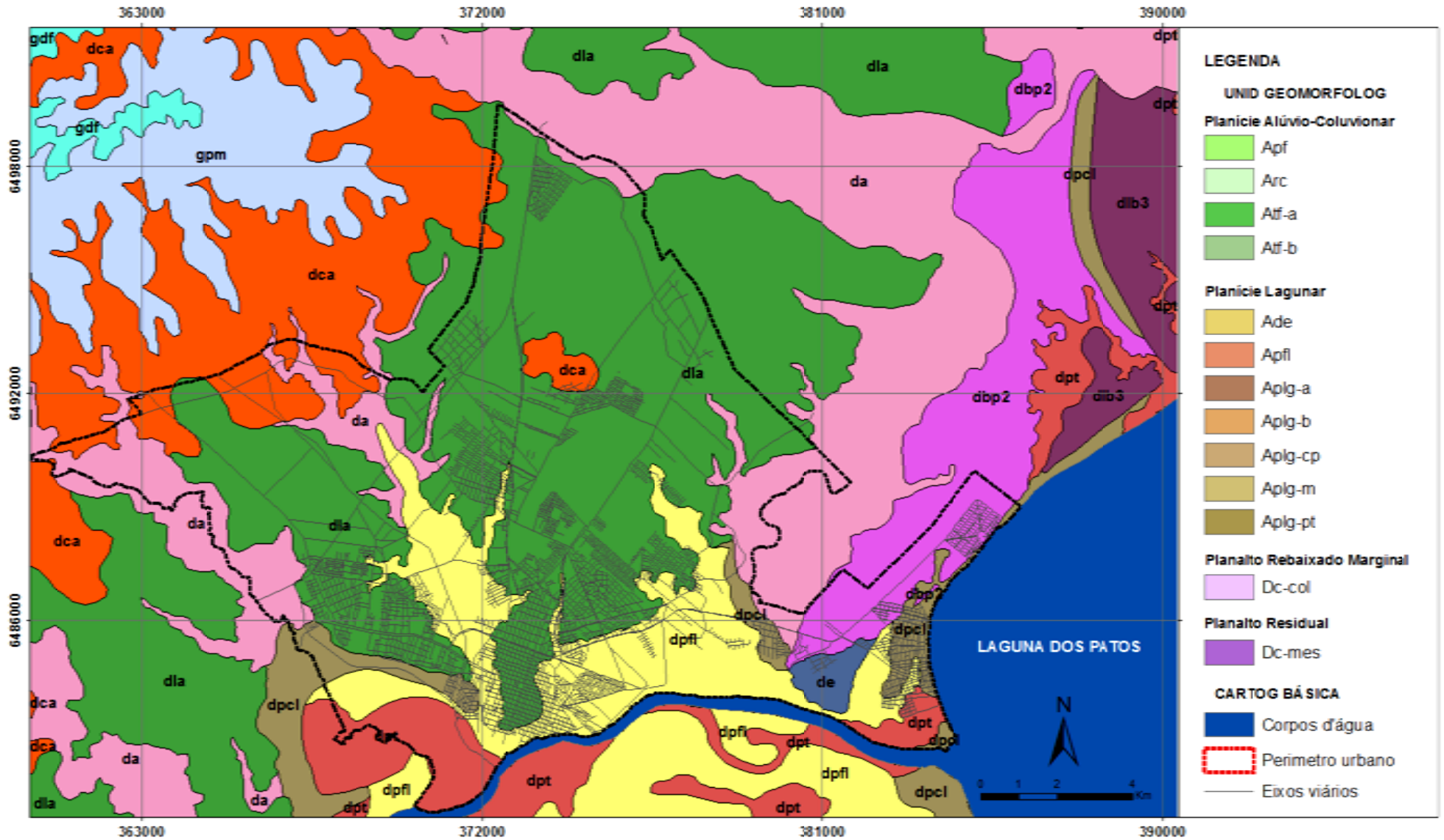


Figura 6.5: Mapa de Unidades Geológicas

A seguir, é feita uma caracterização das unidades geológicas mapeadas, as quais foram agrupadas em conformidade com o domínio morfoestrutural em que se situam.

### 6.2.1 Unidades Geológicas do Planalto Sul-Riograndense

Inserido no Planalto Sul-Riograndense, em sua porção leste, encontra-se o Batólito de Pelotas, de formação Pré-Cambiana, constituído de um complexo plutônico, multi-intrusivo e polifásico cujo arcaibouço resulta, em uma longa evolução, da adição de diferentes processos tectônicos (FRAGOSO, *et al.*, 1986). O batólito possui, ao longo de sua extensão, seis suítes granitóides, diversas exposições de rochas ígneas básicas e septos de rochas metamórficas encaixantes (PHILIPP, 1988). Na área de estudo, o batólito está representado pelas suítes intrusivas Pinheiro Machado e Dom Feliciano.

**Unidade Granito Dom Feliciano (gdf):** É formada por granitos de coloração tipicamente rosada, de textura equigranular, composição predominantemente sienogranítica. São caracterizados pelo predomínio de microclínio e quartzo (PHILIPP, 1988).

**Unidade Granito Pinheiro Machado (gpm):** É conformada por rochas cortadas por diques (granitoides acinzentados) e xenófilos de rochas metamórficas (gnaisses). Segundo Phillip (1988), os granitóides da Suíte Pinheiro Machado possuem composição granodiorítica a monzogranodiorítica, com termos tonalíticos, dioríticos e quartzo-dioríticas subordinados, coloração geralmente cinza, textura dominante equigranular hipidiomórfica média a grossa e mineralogia essencialmente caracterizada pela presença de plagioclásio, biotita, quartzo e feldspato potássico.

### 6.2.2. Unidades Geológicas da Planície Continental e Costeira

Em um contexto cronoestratigráficos, as unidades geológicas que estruturam a área de estudo, dentro das unidades morfoesculturais da Planície Continental e da Planície Costeira Interna (geomorfologia) podem ser entendidas em resposta às oscilações do nível do mar, sob a forma de sistemas deposicionais do tipo leques aluviais e laguna-barreira (TOMAZELLI & VILLWOCK, 1995) (Figura 6.6). Neste cenário, foram mapeadas duas unidades geológicas correspondentes ao sistema de leques aluviais (dca e dla) e sete unidades referentes ao sistema laguna-barreira (da, dbp2, dlb3, de, pe4, dpfl, dpt)

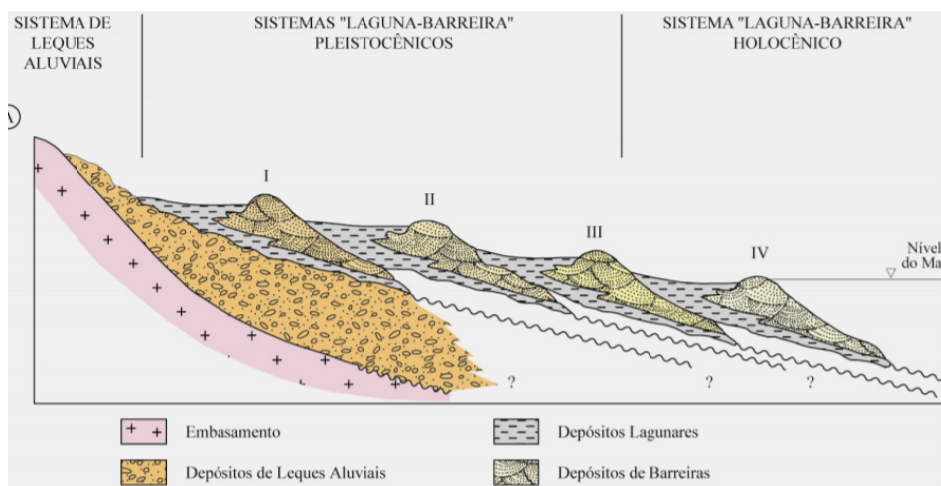


Figura 6.6: Perfil esquemático transversal aos sistemas deposicionais da Planície Continental e da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (baseado em BARBOZA *et al.*, 2008)

**Unidade Depósitos Colúvio-Aluviais (dca):** Conformam terraços em rampa aluvial, de baixa declividade, em sentido noroeste-sudeste, marcando a transição do Escudo Cristalino para a para os Depósitos aluviais. São constituídos, do ponto de vista sedimentar, de areia média a muito grossa, grânulos eventualmente finos (siltes e argila), mal selecionados e grãos imaturos, pouco retrabalhados, típicos da área fonte (XAVIER, 2010)..

**Unidade Depósitos de Leques Aluviais (dla):** Ocupa quase 31,20% da área de estudo e quase 50% do território urbano da cidade de Pelotas. Sua formação se deu a partir dos depósitos sedimentares originários, principalmente, do segundo evento transgressivo-regressivo pleistocênico, que corresponde ao primeiro estágio na evolução do Complexo de Barreiras Múltiplas (TOMAZELLI & VILLWOCK, 1995). Seus sedimentos são compostos, principalmente, por areias finas, síltico-argilosas, pobremente selecionadas e de coloração creme, laminação plano-paralela incipiente, com concreções carbonáticas e ferromanganíferas (XAVIER, 2010). Segundo Rosa (1995), esses depósitos, que compõem a formação Graxaim, recobrem um pacote de sedimentos inconsolidados com aproximadamente, 100 metros de espessura (DELANEY, 1965). Os Depósitos de leques aluviais, na área de estudo, apresentam-se totalmente retrabalhados em ambiente marinho e lagunar, formando verdadeiros terraços lagunares. Em virtude disso, em alguns mapas geológicos ou geológico-geomorfológicos, como os de Tagliani (2002), Santos *et al.* (1989) e Marth *et al.* (2008), os dla aparecem, totalmente ou parcialmente, referidos como depósitos de planície lagunar.

**Unidade Depósitos Aluviais (da):** Compõe os aluviões do Canal São Gonçalo, Arroio Pelotas, Arroio Fragata, Arroio Santa Bárbara e Arroio Padre Doutor. De idade holocênica,



esses depósitos consistem em áreas planas, com declividades inferiores a 2%, e com sedimentos, decorrentes da erosão e deposição fluvial, formados por areias e materiais mais grossos, intercalados com lentes sílico-argilosas com vestígios de material orgânico.

**Unidade Depósitos de Barreira Pleistocênica 2 (dbp2):** Ocupa uma faixa de terra próxima à Laguna dos Patos, estando separada desta por depósitos de praias lagunares. Conformam os Depósitos de Barreira II do Sistema Depositional Laguna-Barreira, formado a partir do segundo evento transgressivo-regressivo pleistocênico. As fácies neles acumuladas são formadas por areia quartzosa fina, bem selecionada, laminação-plano paralela e cruzada, areia média a fina, bem arredondada, rala laminação plano-paralela ou estratificação cruzada (SANTOS et al., 1989).

**Unidade Depósitos Lagunares de Barreira 3 (dlb3):** Conformam a área de planície lagunar média junto à Laguna dos Patos, a sudeste da Lagoa Pequena. Os depósitos são formados por areia silfítico-argilosa, mal selecionada, com laminação plano-paralela incipiente, concreções carbonáticas e ferromanganesíferas (SANTOS et al., 1989). Conforme Rosa (1995), os dbp2 e os dlb3 fazem parte da formação Chuí (DELANEY, 1965), cuja deposição (pleistoceno superior) ocorreu em ambiente marinho e lacustre de águas rasas.

**Unidade Depósitos Eólicos (de):** São encontrados na porção leste da zona urbana de Pelotas, sendo remanescentes de depósitos de dunas litorâneas, associados ao desenvolvimento da Barreira II, do pleistoceno médio. São formados por areias quartzosas finas a médias, bem selecionadas, cores castanho-avermelhadas, bem arredondadas, com raras laminações plano-paralelas ou cruzadas de alto ângulo (TAGLIANI, 2000).

**Unidade Depósitos de Praias e Crista Lagunares (pe4):** De formação holocênica recente, representam os depósitos atuais da Praia do Laranjal e da Lagoa do Fragata, compondo-se de areias quartzosas finas a muito finas, bem selecionadas (XAVIER, 2010).

**Unidade Depósitos de Planície Flúvio-Lacustre (dpfl):** Conformam as planícies de inundação dos canais São Gonçalo e Santa Bárbara e de parte da Laguna dos Patos, estando relacionados ao sistema deposicional Laguna-barreira IV, que se desenvolveu, mais recentemente, no holoceno. Seus sedimentos possuem as mesmas características dos sedimentos que formaram os depósitos de leques aluviais (XAVIER, 2010). Na área de estudo, o sistema Lagunar IV engloba um grupo complexo de fácies acumuladas em ambientes desenvolvidos no espaço de retrobarreiras. Segundo Barboza et al. (2008), esse espaço foi ocupado, no pico transgressivo holocênico, por grandes corpos lagunares que, acompanhando a posterior progradação da barreira, evoluíram para um complexo de

ambientes deposicionais que incluem lagos e lagoas, sistemas aluviais, e sistemas paludais (pântanos, banhados e turfeiras).

**Unidade Depósitos Paludais Turfeiros (dpt):** Os depósitos paludais turfeiros são encontrados juntos à planície de inundação do Canal São Gonçalo. As turfas são resultantes do atrofiamento e da decomposição, em variados graus, de restos vegetais acumulados em condições de umidade excessiva. Em geral, apresentam decomposição mais acentuada conforme aumenta a profundidade, sendo mais fibrosas na superfície e bem decompostas nas camadas mais profundas (XAVIER, 2010).

### 6.3 ELABORAÇÃO DO MAPA DE PEDOLOGIA

O mapa de pedologia foi elaborado a partir do refinamento cartográfico dos mapas elaborados por Cunha & Silveira (1996), para os municípios de Pelotas, Capão do Leão e Rio Grande. Os mapas em formato raster foram georreferenciados e posteriormente vetorizados, em ambiente CAD, tendo por base os limites das unidades geomorfológicas, o MDE SRTM Topodata e, na área correspondente à zona urbana, o MTD Urbano, obedecendo ao que segue: (i) Nos contatos de unidades de solo coincidentes com os limites de unidades de relevo, foi obedecido o limite das últimas; (ii) Nos contatos de unidades de solo sem correspondência no mapa geomorfológico, foram utilizados os modelos numéricos de relevo, bem como os respectivos relevos sombreados, para o refinamento dos limites estabelecidos no mapa de Cunha & Silveira (1996).

Após a delimitação geográfica, as classes de solo foram organizadas de acordo com o substrato geológico dos terrenos para, a partir desta, ser realizada a interpretação conjunta das características geomorfológicas, geológicas e pedológicas dos solos visando ao agrupamento (generalização) das unidades cuja diferenciação taxonômica não apresenta significado geotécnico relevante. Não foram considerados, em virtude de não possuírem grande significância sobre o ponto de vista da engenharia (DAVISON e MILITITSKY, 1994), os atributos relativos ao caráter geoquímico dos solos, como eutrófico, distrófico, solódico e planossólico, presentes em Cunha & Silveira (1996a, 1996b, 1996c). O resultado do procedimento é apresentado na Tabela 6.5 e na Figura 6.7. As siglas das classes seguem as ocorrências dominante(s) e são referenciadas ao SiBCS (EMBRAPA, 2014). Para as classes, cuja ocorrência dominante é a mesma, mas que na sua composição com as ocorrências subdominantes se difere das demais, a diferenciação foi realizada pela aposição de numeração à sigla, seguindo Cunha & Silveira (1996a, 1996b, 1996c).

Tabela 6.5: Unidades de solos mapeadas na zona urbana do município de Pelotas, para fins geotécnicos

<b>SUBSTRATO GEOLÓGICO</b>	<b>AGRUPAMENTOS</b>		<b>SIGLA</b>	<b>OCORRÊNCIAS DOMINANTES</b>	<b>OCORRÊNCIAS SUBDOMINANTES</b>	<b>ÁREA Km<sup>2</sup></b>	<b>% ÁREA</b>
SUÍTES CRISTALINAS	PVA1	PVA1 + PBAC1	<b>PVA-PBAC</b>	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO	NEOSSOLO REGOLÍTICO	53,60	8,43
	PBAC1						
DEPÓSITOS COLUVIAIS	SX1		<b>SX1</b>	PLANOSSOLO HÁPLICO	ARGILOSOLO VERMELHO-AMARELO	80,65	12,69
DEPOSITOS ALUVIAIS	SX4		<b>SX4</b>	PLANOSSOLO HÁPLICO	PLANOSSOLO NÁTRICO GLEISSOLO HÁPLICO	36,50	5,74
	RY1	RY1 + RY2	<b>RY</b>	NEOSSOLO FLÚVICO	GLEISSOLO MELÂNICO	27,80	4,37
	RY2						
	GM1	GM1 + GM2	<b>GM1</b>	GLEISSOLO MELÂNICO	ORGANOSSOLO HÁPLICO NEOSSOLO FLÚVICO	77,36	12,17
GM2							
DEPÓSITOS FLUVIO-LACUSTRES	GM	GM + GM3	<b>GM3</b>	COMPLEXO DE: GLEISSOLO MELÂNICO + GLEISSOLO HÁPLICO + ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO + GLEISSOLO SÁLICO	GLEISSOLO TIOMÓRFICO	53,32	8,39
	GM3						
	OJ		<b>OJ</b>	COMPLEXO DE: ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO + GLEISSOLO MELÂNICO	GLEISSOLO TIOMÓRFICO	18,92	2,98
	ESK		<b>ESK</b>	ESPODOSSOLO FERRI-HUMICO HIDROMÓRFICO	GLEISSOLO MELÂNICO	18,06	2,84
	GZ		<b>GZ</b>	GLEISSOLO SÁLICO	GLEISSOLO INDISCRIMINADOS	9,74	1,53
DEPÓSITOS DE LEQUES ALUVIAIS	SX3		<b>SX3</b>	PLANOSSOLO HÁPLICO	PLANOSSOLO NÁTRICO GLEISSOLO HÁPLICO	195,20	30,71
DEPÓSITOS DE BARREIRAS	PVA2		<b>PVA</b>	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO	GLEISSOLO MELÂNICO	11,29	1,78
	SX5		<b>SX5</b>	PLANOSSOLO HÁPLICO	PLANOSSOLO NÁTRICO GLEISSOLO HÁPLICO	26,17	4,12
	GX1		<b>GX</b>	GLEISSOLO HÁPLICO	NEOSSOLO FLÚVICO GLEISSOLO MELÂNICO	24,76	3,89
DEPÓSITOS EÓLICOS	RQ		RQ	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO		2,35	0,37

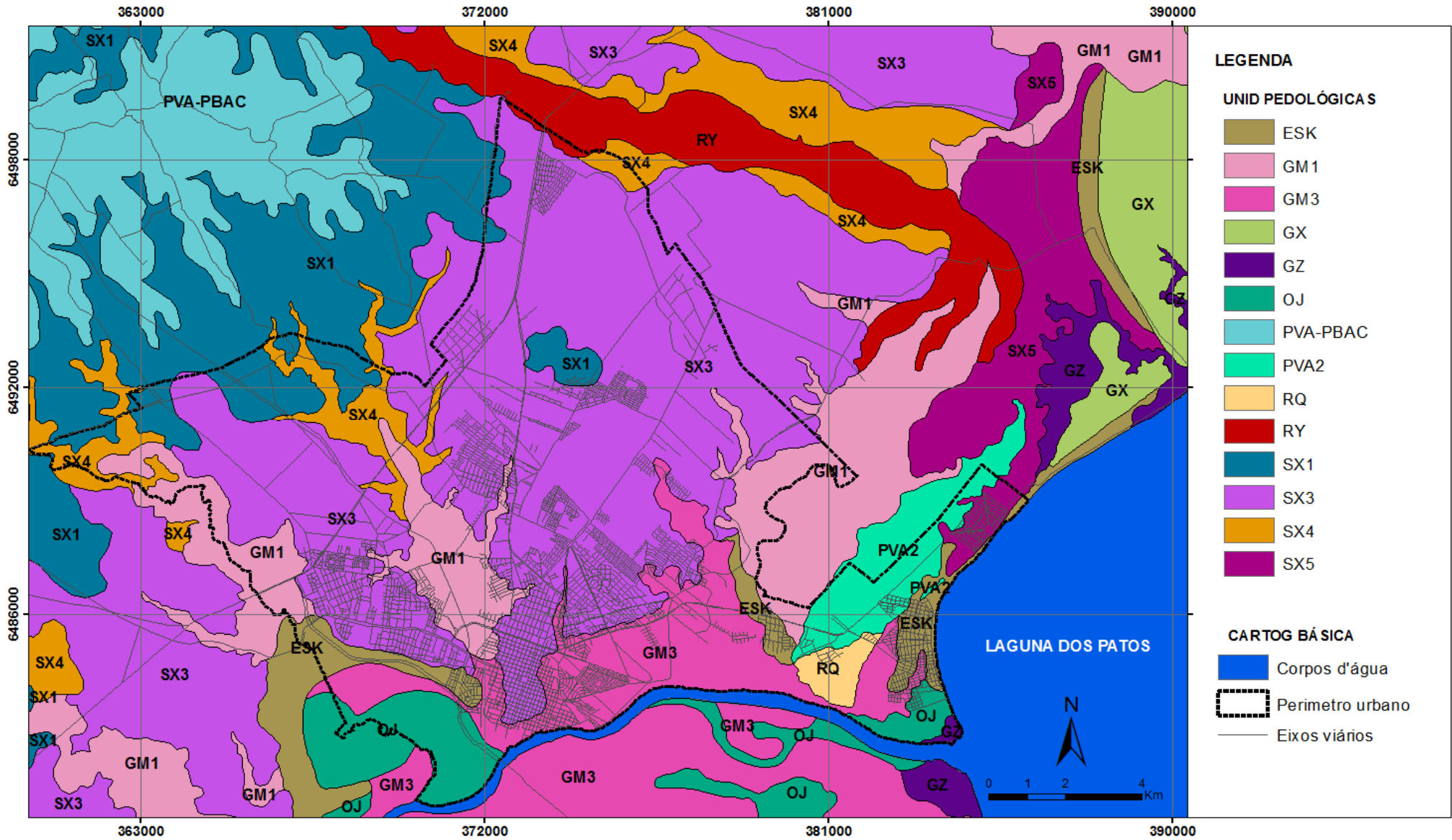


Figura 6.7: Mapa de Unidades Pedológicas

A seguir, são descritas as principais características das classes taxonômicas de solos de cada unidade mapeada, as quais seguem a nomenclatura definida pelo SiBCS (Sistema Brasileiro de Classificação de Solos), segundo Embrapa (2014).

**Unidade Neossolos Flúvicos (RY):** São solos minerais pouco desenvolvidos, apresentando camada superficial (A) moderada, sobre camadas de textura variável, provenientes da deposição, na área de estudo, de sedimentos diversos na planície de inundação do Arroio Pelotas. Os frequentes acréscimos, durante as inundações, restringem o desenvolvimento pedogenético dos perfis. Ocupando áreas planas, com aproveitamento limitado pela má drenagem e risco de inundação, são solos imperfeitamente drenados, caracterizados por ter sedimentos estratificados no perfil, com pedregosidade (seixos), predominância de areias nas camadas, variação nas cores e conteúdo de matéria orgânica sem relação com sua formação. A fração areia é variável e, frequentemente, existe elevado teor no conteúdo de cascalhos (XAVIER, 2010). Nas partes baixas do relevo aparece associado o Gleissolo Melânico, que apresenta silte fino ou argila na camada superficial e subsuperficial, mas também areia e subsolo cascalhento (XAVIER, 2010).

**Unidade Complexo de Organossolo Tiomórfico e Gleissolo Melânico (OJ):** É formada por um complexo de solos hidromórficos (formados em condições de excesso de umidade) pouco evoluídos, essencialmente orgânicos, com horizontes turfosos. Encontra-se na parte sul da área de estudo, junto à Lagoa do Fragata, ao Canal São Gonçalo e no Loteamento Pontal da Barra.

O Organossolo Tiomórfico indiscriminado é profundo e muito mal drenado; sua camada superior (O), de 30 a 60 cm, é composta por turfas bruno escuro. A camada subsuperficial (A), possui textura argilosa, preta, é muito húmica, e não muito bem consolidada, podendo ser levemente salina (XAVIER, 2010). O subsolo, por sua vez, consiste de matéria mineral de textura variável, ocorrendo, muitas vezes, diferentes graus de consolidação; possui cores cinzentas, e reação moderadamente alcalina. A atividade das argilas é muito alta (XAVIER, 2010). O substrato é profundo, em geral abaixo de 2m de profundidade e consiste de areia fina, que pode estar alternada com camadas de argilas consolidadas. Os demais solos que compõem o complexo, gleissolos, possuem, no local, características semelhantes ao primeiro, podendo ocorrer com ou sem uma camada de turfas rasas. Em alguns locais, a presença de sulfetos confere o característico odor de "ovo podre" ao solo, definindo o caráter tiomórfico aos perfis (XAVIER, 2010). Um perfil típico e uma paisagem de ocorrência são ilustrados na Figura 6.8 (STRECK et al., 2008)



Figura 6.8: Perfil e paisagem de ocorrência típicos de Organossolo Háplico (STRECK *et al.*, 2008)

**Unidade Espodossolo Ferri-Húmico Hidromórfico (ESK):** Compreende solos minerais hidromórficos, com horizonte B precedido de horizonte E ou, de forma rara, em sequência ao horizonte A. A quase totalidade desses solos é de textura arenosa, acidez elevada, baixa fertilidade natural, baixos teores de bases trocáveis, elevada permeabilidade e ressecamento rápido. Essa classe de solo apresenta, como diferencial, a concentração mais elevada de matéria orgânica em subsuperfície, característica do processo pedogenético conhecido como podzolização (XAVIER, 2010). O ESK constitui-se um solo profundo, de moderadamente bem a mal drenado, que apresenta uma camada superior (A), com espessura aproximada de 40 cm, textura franco-arenosa ou arenosa, estrutura granular pobre, forte acidez e baixo conteúdo de matéria orgânica. A transição para a camada inferior, de aproximadamente 50cm, arenosa, estrutura de grãos soltos e acidez média, é gradual. O subsolo consiste em areia gleizada, com variável e profundo teor de argila consolidada (CUNHA & SILVEIRA, 1996). Nas partes baixas do relevo (depressões) aparece associado ao Gleissolo Melânico, solo muito mal drenado e que possui uma camada superior arenosa húmica, sobre areia fortemente gleizada. Possui pH alto e variações de raso a profundo. Nos locais onde os sedimentos são franco ou argilosos, também são fortemente gleizados e com similar pH (CUNHA & SILVEIRA, 1996).

**Unidade Planossolos Háplicos (SX1, SX3, SX4, SX5):** Os Planossolos Háplicos são solos hidromórficos, com horizonte B textural, apresentando mudanças textural abrupta entre os horizontes superficiais e subsuperficiais. O horizonte eluvial é de textura mais arenosa, com transição brusca para o horizonte mais argiloso, o qual tem feições associadas ao excesso de umidade (cor cinzenta e mosqueados) (XAVIER, 2010). Os Planossolos originam-se por processos de eluviação-iluviação (translocação de argilas) e gleização (redução de óxido de ferro) e possuem sequência de horizontes A, E, Bt, Cg. Devido ao alto grau de argila

dispersa, o horizonte B apresenta elevado grau de adensamento, baixa permeabilidade e estrutura com aspecto maciço. São encontrados em 54,1% da área de estudo e possuem uma camada superficial (A) de textura média (franco-arenoso) ou franca, e estrutura fraca (maciça), com transição abrupta para a camada subsuperficial (B), que possui textura argilosa ou franca, e estrutura fraca. A atividade da argila é alta. São, em geral, moderadamente ou mal drenados (CUNHA & SILVEIRA, 1996). Quando estão sobre os Depósitos Coluviais, aparecem associados ao Argilossolo Vermelho Amarelo indiscriminado, que é um solo de moderadamente a mal drenado e profundo. Quando sobre os Depósitos Aluviais, de Leques Aluviais e de Planície Lagunar se associam ao Planossolo Nátrico indiscriminado e ao Gleissolo Háptico indiscriminado, que aparecem nas depressões do mesorrelevo. A classe Pelotas, mapeada em Brasil (1973), apresenta perfil e paisagem de ocorrência ilustrada na Figura 6.9, de Streck et al (2008).

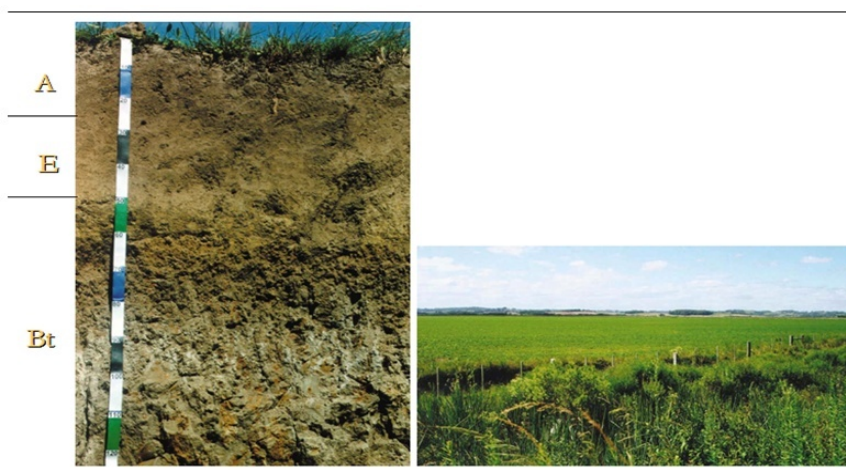


Figura 6.9: Perfil e paisagem de ocorrência típicos de Planossolos da unidade Pelotas (STRECK *et al.*, 2008)

**Unidade Argilossolo Vermelho-Amarelo (PVA):** São solos não hidromórficos, com acentuado gradiente textural B/A, em função do intenso processo de eluviação-iluviação, e com acentuada diferença de cor e textura entre os horizontes. São moderadamente profundos a profundos com cores vermelha a amarelas no horizonte B. A sequência de horizontes é A, B, C, geralmente com transições claras ou abruptas, apresentando argila de atividade alta ou baixa, dependendo da intensidade do intemperismo (XAVIER, 2010), podendo, em alguns locais, aparecer o eluvial E. Na área de estudo, são encontrados próximos a Laguna dos Patos, onde se apresentam profundos com drenagem moderada a imperfeita. A camada superficial (A) é arenosa e de estrutura pobre (granular fraca a grãos soltos). Sua transição é de gradual a abrupta, para a camada subsuperficial (B), que possui textura franca (franco-argilo-arenoso) e estrutura fraca (blocos angulares, fraca a

moderada). O PVA possui argilas com atividade alta e baixa. Associados a ele, são encontrados, nas depressões e pequenas lagoas (olhos d'água), o Gleissolo Melânico indiscriminado (CUNHA & SILVEIRA, 1996). A Figura 6.10 apresenta o perfil e paisagem de ocorrência do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico, pertencente à unidade de mapeamento Tuia (BRASIL, 1973), segundo Streck et al. (2008)



Figura 6.10: Perfil e paisagem de ocorrência típicos de Argissolos Vermelho-Amarelos da unidade Tuia (STRECK *et al.*, 2008)

**Unidade Gleissolo Sálico Órtico (GZ):** É um solo com horizonte sálico (com concentração de sais solúveis em água) e pouca diferenciação entre os horizontes A e C. Trata-se de solos salinos que apresentam eflorescências (crostas de sais) brancas na superfície durante as épocas secas (XAVIER, 2010). Na área de estudo, são encontrados junto à desembocadura do Canal São Gonçalo na Laguna dos Patos (ambos os lados). São solos muito mal drenados, que apresentam uma camada orgânica (O), com aproximadamente 20cm de espessura, com material turfoso. A camada seguinte, mineral argilosa, apresenta cor cinzento-escuro, muito húmica, consolidada e extremamente salina (CUNHA & SILVEIRA, 1996).

**Unidade Gleissolo Melânico (GM1):** Trata-se de um solo hidromórfico com horizonte glei dentro de 60cm a partir da superfície, onde o processo de gleização (redução de óxidos de ferro) é fortemente atuante. A sequência de horizontes é A, Cg, sem gradiente textural, o que, essencialmente, distingue os Gleissolos dos Planossolos (XAVIER, 2010). De modo geral, apresenta textura argilosa, argila de atividade alta, excessiva má drenagem e baixa permeabilidade. Seu horizonte glei tem cores cinzentas com ou sem mosqueados e o horizonte A é mais escuro (XAVIER, 2010).



Na área de estudo, são encontrados nas planícies de inundação dos Arroios Pelotas, Santa Bárbara, Fragata e Padre Doutor, as quais se constituem em áreas baixas e planas. Trata-se, em geral, de um solo profundo e mal drenado. Nas áreas onde o material de origem é constituído por sedimentos argilosos aluviais, sua camada superficial (A) é siltosa ou argilosa, com boa estrutura. Por sua vez, nas áreas onde o material de origem é formado por sedimentos arenosos aluviais; a textura (areia a franco-argilo-siltoso) e a estrutura são variáveis. A transição para o subsolo (C), que também possui textura e estrutura variáveis, é de gradual a abrupta (CUNHA & SILVEIRA, 1996). Associados ao Gleissolo Melânico são encontrados, em boa parte das áreas, Organossolos Háplicos, os quais são solos muito mal drenados, com camada superior orgânica (O), de 30 cm, com turfas ( $MO > 18\%$ ). Possuem sedimentos argilosos consolidados e a mesma sequência de horizontes do Glei Húmico, com argila de cor preta sobre argila da cor cinzenta. Em alguns locais, o subsolo é arenoso, caracterizando Neossolos Flúvicos (CUNHA & SILVEIRA, 1996). A Figura 6.11 apresenta um perfil típico da unidade de mapeamento Banhado (BRASIL, 1973), apresentado em Streck *et al.* (2008).



Figura 6.11: Perfil e paisagem de ocorrência típicos de Gleissolos Melânico da unidade Banhado (STRECK *et al.*, 2008)

**Unidade complexo de Gleissolo Melânico, Gleissolo Háplico, Organossolo Tiomórfico e Gleissolo Sálico (GM3):** Este complexo de solos ocorre disperso junto ao Canal São Gonçalo. Trata-se de solos situados em áreas baixas e pantanosas, inundadas profundamente no inverno e superficialmente no verão, e em faixas de terras mais altas junto a riachos, inundadas apenas no inverno. Nas partes mais altas do relevo da unidade são encontrados os Gleissolos Melânico, Háplico e Sálico e nas partes mais baixas, o Gleissolo Melânico associado ao Organossolo e ao Gleissolo Tiomórficos. As características gerais dos Gleissolos seguem às descritas na unidade GM1, e, conforme Cunha & Silveira (

1996), há muito poucos dados de campo sobre estas áreas. O Gleissolo Melânico das áreas baixas é um solo profundo e muito mal drenado, cuja camada superior (O) possui de 30cm a 60cm de espessura é formada por turfas bruno escuros esponjosas, compostas principalmente de folhas. A camada subsuperficial (A), de 20cm a 50cm de espessura, possui textura argilosa (franco-argilosa, argila-siltosa, argila), cor preto; muito húmica, não muito bem consolidada, podendo ser levemente salina. O horizonte C é profundo (2m) e consiste de material mineral de textura variada (franco-arenoso, franco-argiloso, franco), variáveis graus de consolidação, cores cinzentas e reação moderadamente alcalina. O Solo Orgânico Tiomórfico ocorre, simultaneamente, com uma camada de turfa rasa ou ausente (0 a 30cm) e é comparável ao Gleissolo Melânico. Por último, o Gleissolo Tiomórfico é semelhante ao outros dois, mas possui um odor característico de "ovo podre" (CUNHA & SILVEIRA, 1996).

**Unidade Neossolo Quartzarênico Órtico (RQ):** Constituem solos pouco desenvolvidos, profundos, originados de sedimentos arenosos inconsolidados. Têm sequência de horizontes A, C com menos de 15% de argila. São encontrados próximos ao Canal São Gonçalo e à Laguna dos Patos. Constituindo-se de areias soltas excessivamente drenadas, formam um relevo enrugado, que continuamente muda de forma pela ação do vento (XAVIER, 2010).

**Unidade Associação Argissolo Vermelho-Amarelo-Argissolo Bruno-Acinzentado (PVA-PBAC):** Essa associação de solos é encontrada nas partes mais altas do relevo da área de estudo (porção noroeste), em zona de planalto. Os Argissolos caracterizam-se por apresentarem perfil com gradiente textural no qual o horizonte B é significativamente mais argiloso que os horizontes A e E. Sua sequência de horizontes é A, Bt (textural) e C ou A, E, Bt e C. São originários, na área de estudo, de granitos anatóticos e migmatitos homogêneos, no caso dos PVA, e supostamente migmatitos homogêneo, no caso dos PBAC pois, como asseveram Cunha & Silveira (1996), os dados de campos são escassos. O PVA sobre as suítes cristalinas apresentam-se profundos ou muito profundos (1.00m a 3.00m); seu horizonte A possui de 30cm a 40cm de espessura, textura média (franco-arenoso e franco-argilo-arenoso nas áreas baixas), estrutura fraca (blocos subangulares e angulares pequenos a médios). Possui, ainda, transição gradual ou clara para o horizonte subsuperficial B, que possui de 70cm a 120cm de espessura. Este, na sua maior parte, tem textura argilosa, algumas vezes, cascalhentas, estrutura moderada (blocos subangulares a granulares médios). O horizonte C possui textura argilosa (argila ou franco-argiloso) (CUNHA & SILVEIRA, 1996).

O PBAC é um solo bem drenado e satisfatoriamente profundo (0,50m a 1,00m). Seu horizonte A possui espessura que varia de 25cm a 50cm e textura franco grosseira a fina (franco-arenoso a franco-argilo-arenoso), com conteúdo variável de cascalho e estrutura inicialmente fraca (granular a francamente granular). A transição para o horizonte B é gradual e este possui textura de franco a argilosa (franco-argila-arenoso a argiloso) com igual conteúdo variável de cascalho. O horizonte C possui textura variável e transição para rocha intemperizada (CUNHA & SILVEIRA, 1996). Associado ao PBAC, encontra-se, em pequena parte da área, o Neossolo Regolítico, o qual é, normalmente, um solo excessivamente drenado e raso (40cm), sendo o horizonte superficial A diretamente interligado ao horizonte cascalhento C. Seu horizonte A possui textura franco-arenosa cascalhenta e estrutura fraca de grãos simples (CUNHA & SILVEIRA, 1996).

**Unidade Gleissolo Háptico (GZ):** O Gleissolo Háptico possui as mesmas características gerais dos solos da unidade GM1 (Gleissolo Melânico), com a diferença que seu horizonte A é, de modo geral, mais claro e com menor teor de matéria orgânica. O GZ ocorre nas partes mais altas e planas da unidade, onde predomina associado ao Neossolo Flúvico. Nas partes baixas, ocorre o Gleissolo Melânico. Os solos são normalmente argilosos e siltosos, mas consideravelmente profundos, quando comparados aos solos sobre os depósitos aluviais.

A Tabela 6.6 apresenta um quadro resumo das principais propriedades das classes descritas.

## 6.4 MAPA DO USO DO SOLO

O mapa de uso do solo, relevante para compreensão e análise de sua cobertura, foi elaborado através da classificação supervisionada de imagem composta, a partir das bandas espectrais do satélite Landsat 8, adquiridas em fevereiro de 2016. O Landsat 8 gera, através de dois instrumentos imageadores (OLI e TIRS), imagens pancromáticas, multiespectrais e termais em 11 bandas.

O processo de classificação da imagem seguiu a seguinte sequência de procedimentos:

- a) Correção atmosférica: das bandas 1 a 7 do Landsat, com o uso do método denominado DOS1 (Dark Object Subtraction). Trata-se de um procedimento de correção do espalhamento atmosférico no qual a interferência atmosférica é estimada diretamente a partir dos números digitais (DN) da imagem (SANCHES et al., 2011);

Tabela 6.6: Classes de solos da área de estudo com algumas de suas principais características

CLASSE DE SOLO	SEQUÊNCIA DE HORIZ.	HIDROMORFISMO	CLASSE DE DRENAGEM	ATIVIDADE ARGILA	TEXTURA (HOR A/HOR B)	HORIZONTE DIAGNÓSTICO A	CLASSE DE PROFUNDIDADE	SUBSTRATO(S) GEOLÓGICO(S)
<b>RY</b>	A,C	Sim	Imperfeitamente drenado	Alta e baixa	Indiscriminada	Proeminente	Profundos	Dep. Aluviais
<b>RQ</b>	A,C	Não	Excessivamente drenado	Baixa	Arenosa	Fraco	Profundos	Dep. Eólicos
<b>GM1</b>	A,C	Sim	Mal drenado a muito mal drenado	Alta	Argilosa/ arenosa	Proeminente	Profundo a muito profundo	Dep. Aluviais
<b>GM3</b>	A,C O,A,C	Sim	Mal drenado a muito mal drenado	Alta	Argilosa/Arenosa Argilosa Média/Argilosa	Proeminente Orgânico Chernozêmico	Profundo a muito profundo	Dep. Flúvio-Lacustres
<b>OJ</b>	O,A,C	Sim	Muito mal drenado	Alta	Siltosa/ argilosa	Orgânico Chernozêmico	Profundo	Dep. Flúvio-Lacustres
<b>ESK</b>	A,B,C	Sim	Moderadamente bem a mal drenado	Baixa	Arenosa	Fraco	Profundo	Dep. Flúvio-Lacustres
<b>SX1,3,4,5</b>	A,B,C	Sim	Imperfeitamente drenado	Alta	Arenosa/ argilosa	Moderado	Profundo	Dep. Coluviais; Aluviais; de Leques Aluviais; de Barreiras
<b>PVA</b>	A,B,C	Não	Moderadamente a imperfeitamente drenado	Alta e baixa	Arenosa/ média	Fraco	Muito profundo	Dep. de Barreiras
<b>GZ</b>	O,A,C	Sim	Muito mal drenado	-	Arenosa	Proeminente	Profundo	Dep. Flúvio-Lacustres
<b>GX</b>	A,B,C	Sim	Imperfeitamente drenado	Alta	Arenosa/ argilosa	Moderado	Profundo	Dep. de Barreiras
<b>PVA-PBAC</b>	A,B,C	Não	Profundamente drenado; Bem drenado	Baixa; Alta	Média/Argilosa	Moderado	Profundo; Satisfatoriamente profundo	Suítes Cristalinas

- ;
- b) Recorte, composição e conferência geométrica: recorte das imagens para a área de estudo; composição das bandas de 1 a 7 em uma única imagem multiespectral; verificação da correção geométrica;
  - c) Definição das classes de uso do solo: realização, com base em amostras pré-selecionadas e por meio de análise visual das composições R4G3B2 e R7G5E3 (falsacor), de testes de separabilidade das classes temáticas pré-definidas;
  - d) Criação das assinaturas espectrais: baseados na análise das imagens falsacor do Landsat 8, de alta resolução do Satélite Pleiades e no conhecimento empírico da área de estudo, foram selecionadas amostras de treinamento que resultaram no conjunto de assinaturas espectrais utilizadas para a classificação (Figura 6.12);










Class #	>	Signature Name	Color	Red	Green	Blue	Value	Order	Count
1	▶	MATAS		0.000	0.392	0.000	24	72	8675
2		SOLOS EXPOSTOS		0.824	0.706	0.549	21	88	2478
3		CAMPOS		0.725	0.835	0.486	23	101	3700
4		URBANIZAÇÃO		0.000	0.000	0.000	3	102	9274
5		LAVOURAS		1.000	0.714	0.757	1	103	129546
6		BANHADOS		0.627	0.322	0.176	20	117	33219
7		DUNAS		1.000	1.000	1.000	6	121	104
8		PRAIAS		1.000	0.885	0.520	7	125	97
9		ÁGUAS		0.214	0.350	0.646	10	131	52032

Figura 6.12: Assinaturas espectrais utilizadas na classificação de imagem compostas pelas bandas de 1 a 7 do satélite Landsat 8

- e) Avaliação da separabilidade das assinaturas das amostras: através do método de divergência transformada (*Transformed Divergence*), o qual resulta em uma matriz de separabilidade com valores que variam de 0 a 2000. Segundo Quartaroli & Batistela (2006), valores maiores que 1900 indicam uma boa separação das amostras; valores entre 1700 e 1900, uma separabilidade razoável; e valores abaixo de 1700, uma separabilidade deficiente. 92 % dos valores de separabilidade das classes ficaram acima de 1900; 6% ficaram entre 1700 e 1900; e apenas 2%, referentes à separação entre gramíneas e banhados, ficaram com o valor abaixo de 1700 (1487), indicando um bom nível de separabilidade das assinaturas.
- f) Classificação: realizada através do método paramétrico da Máxima Verossimilhança, o qual considera que a nuvem de pontos que forma a

amostra de treinamento é normalmente distribuída. O método calcula a probabilidade de certo pixel da imagem pertencer a cada uma das classes definidas (QUARTAROLI & BATISTELA, 2006). A Figura 6.13, abaixo, apresenta o mapa resultante da classificação da imagem Landsat 8.

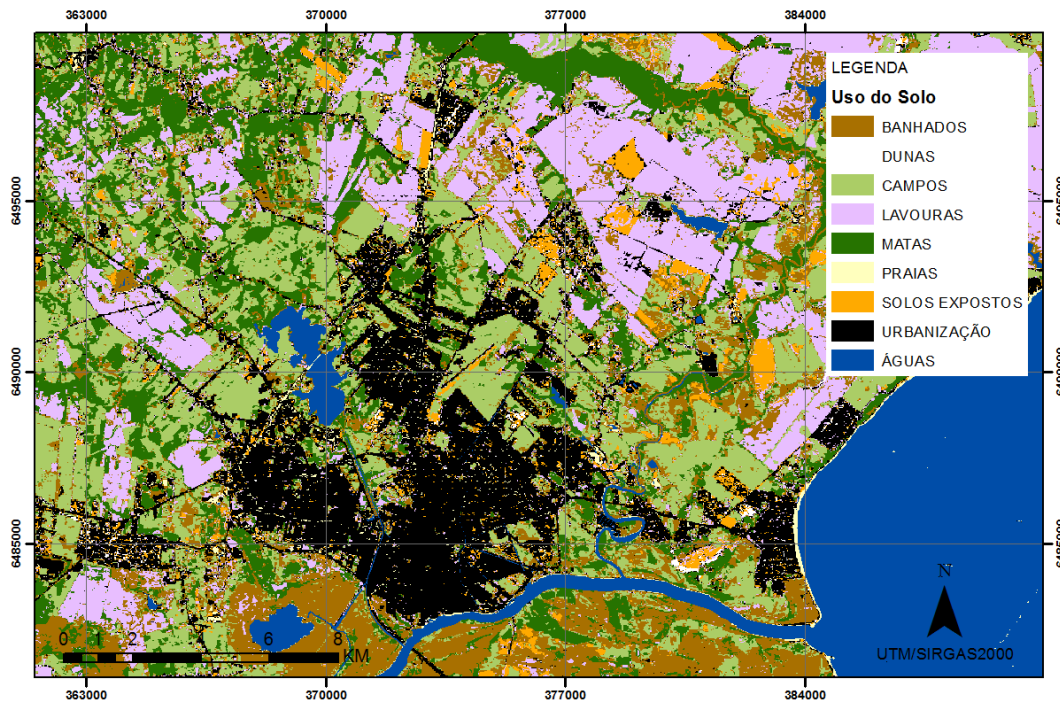


Figura 6.13: Mapa de classificação do uso do solo

## 6.5 DADOS MORFOMÉTRICOS

Como a principal utilização de dados morfométricos, neste trabalho, está relacionada à determinação da suscetibilidade à ocorrência de inundações, os parâmetros selecionados estão relacionados à aplicação de metodologia de determinação desta suscetibilidade. O método escolhido foi o aplicado por Souza, C. (2003; 2005) visando ao gerenciamento costeiro do Litoral do Estado de São Paulo. A autora, a partir de uma revisão bibliográfica a respeito do uso parâmetros morfométricos na predição das hidrógrafas (tempos de duração dos picos de cheias) de inundações, conclui que, dentre os inúmeros parâmetros morfométricos descritos na literatura, os que apresentam melhor relação quanto ao desencadeamento potencial de inundações são aqueles apresentados na Tabela 6.7. A descrição de cada um desses parâmetros, assim como suas implicações hidrológicas na bacia de drenagem e no desenvolvimento de inundações pode ser encontrado em Souza, C. (2005). Os parâmetros apresentados foram obtidos com o uso do MDE SRTM TOPODATA e o conjunto de ferramentas *Hidrology* do software ArcGis.

Tabela 6.7: Parâmetros morfométricos das bacias hidrográficas que fazem parte da área de estudo, no município de Pelotas

Bacia	O	Fg	Kf (A/L <sup>2</sup> )	L (km)	A (km <sup>2</sup> )			P (km)	Fc (%)		Fc1 (%)	S (graus)	Dd (km/km <sup>2</sup> )			Dc (nºconfl/Km <sup>2</sup> )		
					Enc	PC	T		Enc	PC			Enc	PC	T	Enc	Pc	T
Arroio Pelotas	6	Retangular	0,190	68,91	673,81	229,86	903,67	217,59	69,14	30,86	47,18	0,45	1,09'	1,43	1,18	0,65	0,88	0,71
Arroio Santa Bárbara	4	Retangular	0,358	17,51	4,96	104,79	109,74	64,19	2,30	97,70	51,61	0,37	0,71	1,42	1,39	0,40	0,84	0,82
Arroio Pepino	2	Triangular	0,520	5,50	0	15,72	15,72	19,74	0	100	60,17	0,26	0	1,52	1,52	0	0,76	0,76
Arroio Padre Doutor	5	Retangular	0,248	26,90	76,42	103,15	179,58	91,22	30,78	69,22	56,57	0,39	0,91	1,52	1,26	0,46	0,99	0,76
Costeira/Laranjal	3	Retangular	2,451	4,20	0	43,24	43,24	51,58	0	100	61,30	0,29	0	1,24	1,24	0	0,65	0,65
Arroio Fragata	5	Retangular	0,325	26,27	103,16	121,16	224,31	96,97	30,80	60,20	50,37	0,60	1,06	1,36	1,22	0,57	0,91	0,75
Arroio Contagem	5	Retangular	0,225	31,80	57,80	169,78	227,58	100,58	20,53	79,47	54,71	0,26	1,06	1,39	1,31	0,57	0,85	0,78

Ordem hierárquica (O), segundo Strahler (1952); Forma da bacia (Fg); Fator forma (Kf); Comprimento do canal principal (L); Área da bacia (AT); Área da bacia nas encostas (AEnc); Área da bacia na planície costeira (APC); Perímetro da bacia (P); Frequência de canais totais nas encostas (FcEnc); e na planície costeira (FcPC); Frequência de canais de 1º Ordem (Fc1); Declividade média do canal Principal (S); Densidade de denagem total (DdT); nas encostas (DhEnc); e na planície costeira (DhPC); e Densidade de Confluência Total (DCcT); nas encostas (DcEnc); e na planície costeira (DcPC)

## 6.6 SONDAGENS SPT

O SPT (*Standard Penetration Test*) constitui-se em instrumento básico de investigação geotécnica dos solos e subsolos. A simplicidade de execução, associada ao baixo custo, fazem do SPT a ferramenta de investigação geotécnica de campo (*in situ*) mais utilizada no mundo nas áreas da Geologia de Engenharia e da Engenharia de Fundações. O ensaio SPT constitui-se em uma medida de resistência dinâmica, conjugada a uma sondagem de simples reconhecimento e resulta em um indicativo da densidade de solos granulares, sendo aplicado, igualmente, na identificação da consistência dos solos coesivos e das rochas brandas (SCHNAID & ODEBRECHT, 2012). Inúmeros trabalhos científicos de mapeamento geotécnico utilizam dados obtidos a partir de laudos de sondagens SPT na caracterização dos solos, como os de Rodrigues (2008), Andrade (2005), Pons (2006), Bastos, G. (2005), Soares (2011), Folle (2009), Zaine (2000), Xavier (2010). Informações tais como a composição textural dos solos, a profundidade do lençol freático e a consistência e/ou compacidade dos solos podem ser aplicadas tanto no mapeamento das suscetibilidades dos terrenos à ocorrência de processos geodinâmicos, quanto na definição de seus níveis de aptidão aos diferentes tipos e graus de urbanização. Destaca-se seu uso no mapeamento e caracterização das unidade geotécnicas.

Para o presente trabalho, foram prospectados 460 boletins de sondagens SPT da zona urbana de Pelotas, publicados por Beloni *et al.* (2014). Após o georreferenciamento e obtenção da cota altimétrica (por meio do MNT Urbano) dos furos de sondagem, e antes da tabulação de seus dados, os boletins passaram por uma análise inicial visando o agrupamento de sondagens muito próximas e de mesmas características (tanto nos valores de  $N_{spt}$  quanto no perfil dos terrenos). Isto porque, para as escalas dos mapeamentos trabalhados, as sondagens pertencentes a uma mesma obra podem, não havendo variação significativa entre os dados, ser representadas por um único boletim que as caracterize.

Sendo assim, foi adotado um boletim representativo de cada um dos agrupamento de sondagem, totalizando 138 boletins. A análise inicial também serviu para descarte de boletins que se apresentavam incompletos em seus dados essenciais ou nos quais os mesmos eram inconsistentes entre si. Também foram descartados os boletins cuja localização era imprecisa em mais de cinquenta metros (limite pré-estabelecido para a validação posicional do furo). Ao todo, foram descartados 28 boletins de sondagem. Em virtude da facilidade de manipulação e análise, os dados das sondagens foram tabulados em software de planilha eletrônica.



As planilhas, devidamente formatadas, foram exportadas para o Banco de Dados Geográfico e relacionadas logicamente, por meio do campo chave (código da sondagem), com a tabela da feição representativa dos pontos dos furos, de modo a permitir, no SIG, as análises espaciais e produção dos mapas necessários. Diversas sondagens apresentam limitação no que diz respeito às profundidades das prospecções que, em boa parte, limitam-se a 8,45 metros. De acordo com o responsável técnico de uma das empresas que executaram as prospecções, isto se deve basicamente a dois fatores: (i) em grande parte da zona urbana, nesta profundidade, os terrenos já apresentam resistência suficiente à execução de edificações de até cinco pavimentos (tipologia dominante na cidade); (ii) menor custo para o cliente. A Figura 6.14 mostra a localização dos 138 furos de sondagem adotados.



Figura 6.14: Localização das 138 sondagens SPT adotadas

## 6.7 OUTROS DADOS

Neste subtítulo, foram agrupados dados complementares, a serem utilizados nos processos de mapeamento e que sofreram algum tipo processamento, edição e/ou análise preliminar.

### 6.7.1 Mapas de isodeclividades e Hispometria

Em função das diferenças entre processos geodinâmicos ocorrentes na área de estudo, foram elaborados dois mapas de isodeclividades (com diferentes intervalos de classes): um destinado ao estudo da predisposição dos terrenos à erosão; e outro à inundação. Os mapas foram elaborados com base no MDE SRTM TOPODATA a partir do fatiamento da grade regular que representa as declividades da área de estudo em cinco classes.

Para estudo da erosão os intervalos de classes escolhidos foram baseados nos parâmetros propostos por Ross (1996). Segundo o autor, a divisão baseou-se nos valores de declividades consagrados em estudos de capacidade de uso/aptidão dos solos, associados aos valores limites críticos da geotecnia, no estudo das erosões. As faixas de valores utilizadas por Ross (1996) foram: 0 a 6%; 6 a 12%; 12 a 20%; 20 a 30%; >30%. Devido as características da área de estudo foram feitas adaptações nas mesmas, de forma a melhor adequá-las as baixas declividades ocorrentes na planície costeira (região geomorfológica predominante). Sendo assim, foram utilizadas as seguintes faixas: 0 a 4%; 4 a 10%; 10 a 20%; 20 a 30%; >30%.

Para o estudo das inundações foram procuradas referências em trabalhos que utilizam a declividade como elemento de análise do fenômeno. A maioria deles (7 entre 13 trabalhos consultados) utiliza a divisão de classes presente em EMBRAPA (1979) a qual decompõe o relevo em seis classes, cada uma delas correspondendo a uma faixa de declividade: plano (0 a 3%); suave ondulado (3 a 8%); ondulado (8 a 20%); forte ondulado (20 a 45%); montanhoso (45 a 75%); e escarpado (>75%). A divisão proposta, tem como objetivo a descrição do relevo para fins de levantamento de solo (EMBRAPA, 1979) e não objetiva, portanto, o estudo de nenhum tipo de fenômeno geodinâmico. Sendo assim, a mesma não apresenta-se adequada ao estudo das inundações. Nos demais documentos consultados há considerável variação entre as classes de declividades, sendo possível perceber, quando não indicado, como em Lima, M. (2010) e Leite & Rocha (2016), tratar-se de uma adaptação às condições de relevo do local de estudo.

No caso de Pelotas, as baixas declividades da maior parte da área de estudo determinam a utilização de faixas menores de valores para as classes mais baixas, como forma de se obter uma melhor detalhamento da área da planície costeira, na qual ocorrem as inundações. Desta forma, foram definidas as seguintes faixas de valores de declividade: 0 a 3%; 3 a 6%; 6 a 12%; 12 a 24%; >24%, as quais situam-se próximas as utilizadas por Andrade *et al.* (2014). O mapa de isodeclividades com estas classes é apresentado no Apêndice A.

As classes altimétricas, por sua vez devem ser definidas em função das características do relevo das áreas em estudo. Áreas com relevo movimentado e alta variação nas amplitudes altimétricas determinam classes de maior intervalo, ao passo que para áreas de baixa variação na amplitude e relevo predominantemente plano devem ser representadas por classes de menor intervalo, principalmente nas menores altimetrias, de forma a se obter um melhor detalhamento da variação de relevo destas áreas. Desta forma, o mapa hipsométrico manifesta a relação direta entre as altitudes e a geomorfologia da área, com:

a classe de menores altitudes (0 a 5 metros) correspondendo às planícies de inundação flúvio-lacustre e lagunar; a classe de altitudes entre 5 e 10 metros, aos depósitos alúvio-colvionares, aos depósitos de planície lagunar alta e parte da planície lagunar média; a classe de altitude entre 25 a 50 metros, aos depósitos de colúvios; a classe de altitude maiores de 50 metros, às colinas e os morros com encostas suaves (o mapa de isodeclividades é apresentado no Apêndice A).

#### 6.7.4 Mapas da curvatura do relevo

A curvatura do terreno retrata seu caráter convexo/côncavo, convergente/divergente e plano (ou retilíneo) e se relaciona com os regimes de concentração, dispersão e velocidade do fluxo de água da chuva que, por sua vez, atuam diretamente nos processos de perda de solo (erosões) e, indiretamente, na ocorrência das inundações. A curvatura vertical está relacionada com os processos de transporte e acumulação de águas, minerais e matéria orgânica; inclusive podem ser um indicativo da dinâmica erosiva de determinada área. Birgarella (2003, apud SILVA NETO, 2013), observa que o início do escoamento superficial, em perfil convexo, caracteriza-se pela forma difusa, em sequência, em perfil retilíneo, o fluxo toma uma tipologia de pequenos filetes e, na porção final, em perfil côncavo, os filetes aumentam e tornam o fluxo capaz de transportar partículas maiores do que as removidas pelo escoamento inicial difuso.

A curvatura horizontal indica as áreas convergentes e divergentes do escoamento superficial. As vertentes de fluxo concentrados (convergentes) tendem a transportar partículas maiores, em relação àquelas movidas pelo escoamento superficial difuso (divergente) (BIRGARELLA, apud SILVA NETO, 2013). Assim, quanto maior é a concentração do fluxo maior é seu potencial de erosão. A curvatura do relevo, em um determinado local, é dada pela combinação de suas curvaturas horizontais e verticais, a qual determina o predomínio de fluxos concentrados ou dispersos, conforme a Figura 6.15. O mapa de curvatura do relevo é apresentado no Apêndice A.

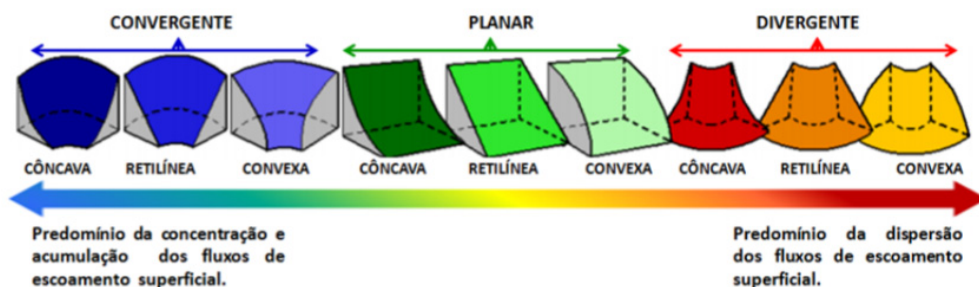


Figura 6.15: Formas do relevo de acordo com a combinação de suas curvaturas horizontal e vertical (SILVA NETO, 2013)

### 6.7.5 Mapa da cobertura vegetal do solo

O mapeamento da cobertura vegetal do solo foi realizado através do NVDI (*Normalized Difference Vegetation Index*) ou Índice de Vegetação da Diferenças Normalizada, proposto por Rouse *et al.* (1973). O NVDI tem sido largamente utilizado em pesquisas ambientais, em especial com o uso de imagens de satélite, pois reduz o efeito topográfico e resulta em uma escala de medida linear (entre -1 e 1), permitindo análises sobre a cobertura vegetal em diversas escalas (MORAES & ALVARENGA, 2014). De acordo com Moraes & Alvarenga (2014), de uma maneira geral, os índices de vegetação realçam o comportamento espectral da mesma, correlacionando-se com os aspectos biofísicos, tais como a biomassa, a área folhar, o vigor da vegetação, a cobertura do solo, a atividade fotossintética, dentre outros. Os índices são normalmente utilizados para caracterizar a presença de vegetação fotossinteticamente ativa na superfície terrestre, bem como sua distribuição espaço-temporal, a qual é inerente às condições climáticas e aos ciclos fenológicos anuais.

O NVDI é obtido através da razão entre a diferença normalizada da reflectância do infravermelho próximo (NIR) e a reflectância do vermelho (R), divididas, respectivamente, pela soma das mesmas. Para o presente estudo, o NVDI foi obtido através do processamento das bandas espectrais 4 (R) e 5 (NIR) do satélite Landsat 8, adquiridas em fevereiro de 2016 (descrita no item 6.4). As imagens passaram por prévia reprojeção, conferência de registro geométrico e correção atmosférica. A operação algébrica entre as bandas 4 e 5 resultou em uma imagem com valores de NVDI que variavam entre -0,25 e 0,65 e que, após análise do histograma, foi classificada em quatro classes: sem presença de vegetação (-0,25 a 0,30); vegetação de baixa densidade (0,30 a 0,35); vegetação de média densidade (0,35 a 0,46); vegetação de alta densidade (0,46 a 0,65).

Logo após, a imagem foi reclassificada com o objetivo de separar as áreas correspondentes às lavouras. O cultivo da terra passa por diferentes estágios alterando o tamanho e a densidade das plantas e suas folhagens, que variam conforme o tipo de cultura e a época do ano. Na imagem Landsat utilizada, algumas culturas estão em plena maturação, apresentando alta densidade, e outras em estágio inicial, apresentando baixa densidade e/ou inexistência de massa vegetal. Sendo assim, através do cruzamento com o mapa do uso do solo (álgebra de mapas), foi criada uma classe específica para as lavouras, a qual não recebe classificação de densidade (o mapa de densidade da cobertura vegetal é apresentado no Apêndice A).

## Capítulo 7 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA: ETAPA 3 - MAPEAMENTO GERAL

---

O mapeamento geral do método progressivo é, aqui, representado pela suscetibilidade dos terrenos à ocorrência de processos geodinâmicos que, no caso da área de estudo, restringe-se às inundações e à erosão. Os mapas de suscetibilidades foram elaborados, predominantemente, com base nos condicionantes naturais predisponentes de maior relevância ao fenômeno em estudo e cujos dados mostraram-se passíveis de aquisição. No entanto, duas feições do tecnogeno foram igualmente consideradas: o desvio e represamento do Arroio Santa Bárbara e as alterações na cobertura do solo. Para elaboração de cada mapa, os planos de informações (PI) selecionados foram submetidos à análise multicritério, com as ponderações de pesos, por plano, realizadas por meio da análise e do conhecimento de situações semelhantes. A cada uma das diferentes classes dos atributos analisados (PI), foi atribuído um peso referente ao seu grau de suscetibilidade à ocorrência do processo em análise, conforme a Tabela 7.1.

Tabela 7.1: Classes de suscetibilidade e seus pesos

Suscetibilidade	Peso
Muito baixa	1
Baixa	2
Moderada	3
Alta	4
Muito Alta	5

Na avaliação da contribuição relativa de cada um dos planos de informações que compõem a suscetibilidade dos terrenos à ocorrência do fenômeno em estudo, aplicou-se o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), o qual permite organizar e avaliar a importância relativa entre critérios, mensurando a consistência dos julgamentos (CARDOSO, 2009).

### 7.1 CARTA DE SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES

Para determinação da predisposição dos terrenos à ocorrência de inundações foram selecionados os planos de informações: morfometria das bacias hidrográficas; pedologia

(solos); geologia; isodeclividades; hipsimetria; e uso do solo (cobertura do solo). Cabe esclarecer que, embora alguns trabalhos científicos que aplicam a análise multivariada para o mapeamento da suscetibilidade a inundações utilizem a geomorfologia, como um dos temas de análise, esta pode ser substituída pela isodeclividade e pela hipsimetria, visto que são as propriedades do relevo que melhor determinam a possibilidade de ocorrência do fenômeno.

### 7.1.1 PI Morfometria das Bacias Hidrográficas

A suscetibilidade morfométrica das bacias de drenagem a inundações foi definida com base na metodologia proposta por Souza, C. (2003; 2005), voltada para áreas costeiras. Na área de estudo, as bacias possuem características morfológicas que condicionam fortemente a ocorrência de inundações: suas cabeceiras, na maior parte, encontram-se em terrenos do embasamento, com declividades elevadas a médias, e o restante está situado em terrenos da planície costeira, com declividades baixas a nulas (SOUZA, C., 2005).

Conforme Souza, C. (2005), "qualquer estudo de suscetibilidade morfométrica em áreas costeiras deve levar em consideração que essas bacias apresentam dois compartimentos geomorfológicos distintos, que devem ser analisados individualmente. Ainda segundo a autora, é evidente o papel da morfometria como condicionante natural do comportamento hidrológico das bacias de drenagem, sendo a mesma um dos fatores responsáveis pela suscetibilidade natural ao desenvolvimento das inundações.

Para determinação da Suscetibilidades Morfométricas (SM) das bacias, foram selecionados os parâmetros anteriormente apresentados na Tabela 6.7, sendo a suscetibilidade função ora direta, ora inversamente proporcional a cada um destes parâmetros morfométricos, tal que:

$$SM = f(O.Fg.Kf.AEnc.APC.P.L.FcEnc.FcPC.Fc1.Dht.DhEnc.DhPC.DcT.DcEnc.DcPc.1/S)$$

Equação 7.1: Suscetibilidade morfométrica das bacias de drenagem, em que: Ordem hierárquica (O), segundo Strahler (1952); Forma da bacia (Fg); Fator forma (Kf); Comprimento do canal principal (L); Área da bacia (AT); Área da bacia nas encostas (AEnc); Área da bacia na planície costeira (APC); Perímetro da bacia (P); Frequência de canais totais nas encostas (FcEnc); e na planície costeira (FcPC); Frequência de canais de 1º Ordem (Fc1); Declividade média do canal Principal (S); Densidade de drenagem total (DdT); nas encostas (DhEnc); e na planície costeira (DhPC); e Densidade de Confluência Total (DCCt); nas encostas (DcEnc); e na planície costeira (DcPC)

A densidade de drenagem, comumente utilizada em análises morfométricas, foi satisfatoriamente substituída pela densidade hidrográfica e pela densidade de confluências.

Uma vez que as unidades encosta e planície costeira foram avaliadas separadamente, também os parâmetros de taxa de relevo e índice de rugosidade não foram utilizados.

Cada um dos parâmetros morfométricos calculados apresenta uma série de valores relativos às características da bacia a que se referem (Tabela 6.7). Como tais valores apresentam-se, algumas vezes, próximos entre si, outras vezes bastante heterogêneos, estes foram divididos em intervalos homogêneos de valores correspondentes às classes de suscetibilidade previamente estabelecidas. Para tanto, inicialmente foram identificados os valores máximos e mínimos e a média aritmética da série. Eventuais valores anômalos (de maior dispersão) foram excluídos da operação de divisão dos intervalos, de forma a evitar erros de classificação. Estes valores extremos, superiores e/ou inferiores a um desvio padrão da média, foram posteriormente incorporados aos intervalos de valores máximos ou mínimos das classes de suscetibilidade.

Após a identificação dos intervalos cada parâmetro foi classificado em função do seu grau relativo de suscetibilidade. Para tanto, cada classe de suscetibilidade recebeu um valor numérico inteiro (peso), conforme Tabela 7.1, os quais, seguindo os valores máximos e mínimos e a média, foram relacionados aos valores numéricos dos parâmetros. Em relação ao único parâmetro descritivo (forma da bacia) foram utilizadas as indicações presentes em Souza, C. (2005), a qual define que as bacias circulares são mais suscetíveis a inundações, as retangulares a menos e as quadradas e triangulares ficam em nível intermediário.

Obtidas as pontuações de suscetibilidade individual dos parâmetros, realizou-se a somatória do número total de pontos de cada bacia, os quais foram divididos igualmente em cinco intervalos (excluindo os valores dispersos da média) que, por fim, levaram à classificação final de suscetibilidade morfométrica das bacias de drenagem (

Tabela 7.2). Como não havia parâmetros morfométricos para a Bacia da Mangueira que, embora faça parte da área de estudo, não pertence ao município de Pelotas, foi atribuído o mesmo grau de suscetibilidade da Bacia Costeira/Laranjal, de mesmas características.

Tabela 7.2: Suscetibilidade morfométrica as bacias da área de estudo: atribuição de pesos ao diferentes parâmetros morfométricos utilizados

Bacia	O	Fg	Kf	L	A			P	Fc		Fc1	S	Dd			Dc			Soma	SM
					E	P	T		E	P			E	P	T	E	P	T		
Arroio Pelotas	5	2	1	5	5	5	5	5	5	1	1	1	5	5	1	5	5	3	65	4
Arroio Santa Bárbara	3	2	3	3	1	3	3	2	1	5	2	3	1	5	5	4	3	5	54	3
Arroio Pepino	1	3	5	1	1	1	1	1	1	5	5	5	1	5	5	1	1	5	48	2
Arroio Padre Doutor	4	2	1	5	4	3	4	5	5	3	5	2	3	5	2	4	5	5	67	5
Costeira/ Laranjal	2	2	5	1	1	1	1	1	1	5	5	5	1	1	1	1	1	1	36	1
Arroio Fragata	4	2	3	4	5	4	5	5	5	3	1	1	5	4	1	5	5	4	66	5
Arroio Contagem	4	2	1	5	3	5	5	5	4	4	4	5	5	4	3	5	4	5	73	5

### 7.1.2 PI Pedologia e PI Geologia

Para atribuição de pesos ao plano temático Pedologia, analisaram-se as principais características de cada unidade de solo, descritas no item 7.3 e resumidas na tabela 7.7, que possuem relação direta com a capacidade destes em absorver a água da chuva, tais como: hidroformismo, classe de drenagem, profundidade e textura. Os pesos restaram distribuídos conforme a Tabela 7.3.

Tabela 7.3: Definição de pesos para as unidades de solos do PI Pedologia

Sigla	Classes de Solo	Pesos
RY	NEOSSOLO FLÚVICO	3
RQ	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO	1
GM1	GLEISSOLO MELÂNICO	4
GM3	COMPLEXO DE: GLEISSOLO MELÂNICO, GLEISSOLO HÁPLICO, ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO E GLEISSOLO SÁLICO	4
OJ	COMPLEXO DE ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO E GLEISSOLO MELÂNICO	5
ESK	ESPODOSSOLO FERRI-HUMICO HIDROMÓRFICO	2
SX1,3,4,5	PLANOSSOLO HÁPLICO	3
PVA	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO	2
GZ	GLEISSOLO SÁLICO	5
GX	GLEISSOLO HÁPLICO	3
PVA-PBAC	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO	1

Na definição dos pesos relativos das unidades geológicas, a característica analisada foi a litologia (com preponderância para textura dos materiais), ficando a distribuição de pesos conforme a Tabela 7.4.



Tabela 7.4: definição de pesos para as unidades do PI Geologia

Sigla	Classes Geológica	Pesos
gdf	GRANITO DOM FELICIANO	3
gpm	GRANITO PINHEIRO MACHADO	3
da	DEPÓSITOS ALUVIAIS	3
dca	DEPÓSITOS COLÚVIO-ALUVIAIS	2
dla	DEPÓSITOS DE LEQUES ALUVIAIS	2
dbp2	DEPÓSITOS DE BARREIRAS PLEISTOCÊNICAS 2	1
dlb3	DEPÓSITOS LAGUNAR DE BARREIRAS 3	1
de	DEPÓSITOS EÓLICOS	1
dpcl	DEPÓSITOS DE PRAIAS E CRISTAS LAGUNARES	1
dpfl	DEPÓSITOS DE PLANÍCIE FLÚVIO-LACUSTRE	2
dpt	DEPÓSITOS PALUDAS E TURFEIROS	4

### 7.1.3. PI Isodeclividades e PI Hipsometria

A definição de pesos para os PIs Isodeclividade e Hipsometria segue a evidência de que quanto menores são a declividade e a cota altimétrica de um terreno, mais suscetível é o mesmo à ocorrência de inundações (Tabela 7.5 e Tabela 7.6)

Tabela 7.5: Definição de pesos para as classes do PI Isodeclividades

Classes de declividade	Pesos
0 a 3%	5
3 a 6%	4
6 a 12%	3
12 a 24%	2
> 24%	1

Tabela 7.6: Definição de pesos para as classes do PI Hipsometria

Classes de altitude	Pesos
0 a 5m	5
5 a 10m	4
10 a 25m	3
25 a 50m	2
>50 m	1

### 7.1.4 PI Uso do Solo

O tipo de uso e ocupação do solo tem relação direta com a infiltração e com o escoamento superficial. As áreas urbanizadas, por exemplo, devido ao alto grau de impermeabilização, tendem a favorecer o escoamento das águas, que atingem seu enxutório rapidamente e de

forma concentrada, aumentando a magnitude e a frequência das inundações nestas áreas (BOTELHO, 2011), tendo, com isso, uma grande contribuição no processo de inundação. As áreas vegetadas, conforme a densidade de cobertura, e a conseqüente maior ou menor interceptação da água da chuva, contribuem, em diferentes graus, na ocorrência do fenômeno. Os banhados, por sua vez, devido à presença permanente ou sazonal de água, possuem baixa capacidade de infiltração, ao contrário das áreas de dunas e praias que possuem boa ou muito boa capacidade. Nas áreas de solos expostos, quando estas não são utilizadas para culturas, os solos apresentam-se, em geral, compactados, o que dificulta a infiltração.

Os pesos para as classes do PI Uso do Solo foram adotados de Muller (2012) e Santana *et al.*, (2014), conforme a Tabela 7.7.

Tabela 7.7: Definição de pesos para o PI Uso do Solo

Usos do Solo	Pesos
Matas	2
Solos Expostos	4
Campos	3
Urbanização	4
Lavouras	3
Banhados	4
Dunas	1
Praias	2
Águas	5

### 7.1.5 Cruzamento dos Planos de Informações

O cruzamento dos planos de informação demanda a avaliação da contribuição relativa de cada um deles na formação da suscetibilidade, o que pode ser feito pelo conhecimento de situações semelhantes, com base na literatura, por exemplo, ou através da aplicação de método que possibilite reduzir a subjetividade do processo, como é o caso do Analytic Hierarchy Process (AHP).

O AHP tem, como princípio, a racionalidade e é um dos sistemas mais utilizados no auxílio à tomada de decisões com base em multicritério (FERNANDES, N., 2016). O método tem por base a comparação par a par dos atributos analisados, permitindo uma avaliação da importância relativa entre eles. O AHP consiste, basicamente, em priorizar a importância relativa de "n" elementos de tomada de decisão em relação a um objetivo pré-estabelecido. Mediante avaliações comparativas dos elementos, dois a dois, o método facilita a análise pelo avaliador que, através da aplicação de um índice de consistência, pode verificar se os

valores atribuídos a cada par de critérios são coerentes (RAFAELI & MÜLLER, 2007). Saaty, criador do método, define o AHP como sendo um procedimento de apoio à decisão multicritério baseado na construção de uma hierarquia, no estabelecimento de prioridades e na consistência lógica destas (SAATY, 1991 *apud* RAFAELI & MÜLLER, 2007). A técnica permite determinar a contribuição relativa de cada um dos fatores envolvidos em um na ponderação de uma decisão, considerando-se as diferentes influências exercidas por cada uma das variáveis físicas na ocorrência do processo em estudo.

O processo de aplicação do AHP segue a seguinte sequência de ações: (i) definição do problema e dos objetivos; (ii) estruturação de uma hierarquia criterial; (iii) construção da matriz de comparação pareada para cada conjunto de elementos integrante do mesmo nível hierárquico; (iv) definição dos valores de importância relativa de cada fator; (v) verificação de consistência (RAFAELI & MÜLLER, 2007; PINESE JUNÍOR & RODRIGUES, 2012). Conforme Pinese Júnior & Rodrigues, a verificação de consistência revela-se fundamental para validação dos pesos atribuídos e, se esta não for alcançada, o processo deve retornar à etapa anterior.

Saaty (1977), para efeitos de comparação, propõe um escala de valores que variam de um a nove e que descreve a importância (preferência/dominância) de um atributo em relação ao outro, conforme a Tabela 7.8.

Tabela 7.8: Escala numérica de Saaty com os pesos para o julgamento comparativo

Intensidade de importância	Definição	Descrição
1	Importância equiparada	Contribuição equiparada dos fatores para o objetivo
3	Importância moderada	Um fator ligeiramente favorável em detrimento de outro
5	Importância forte	Um fator fortemente favorável em detrimento de outro
7	Importância muito forte	Um fator muito fortemente favorável em detrimento de outro; domínio demonstrado na prática
9	Importância absoluta	A maior ordem de afirmação possível de um fator em detrimento de outro
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Necessidade possível de interpolar julgamentos numéricos

(Fonte: Saaty, 1977)

Neste contexto, já estando previamente definidos os problemas e objetivo (mapeamento da suscetibilidade a inundações), a estrutura hierárquica de critérios para aplicação do método AHP restou definida conforme a Figura 7.1.

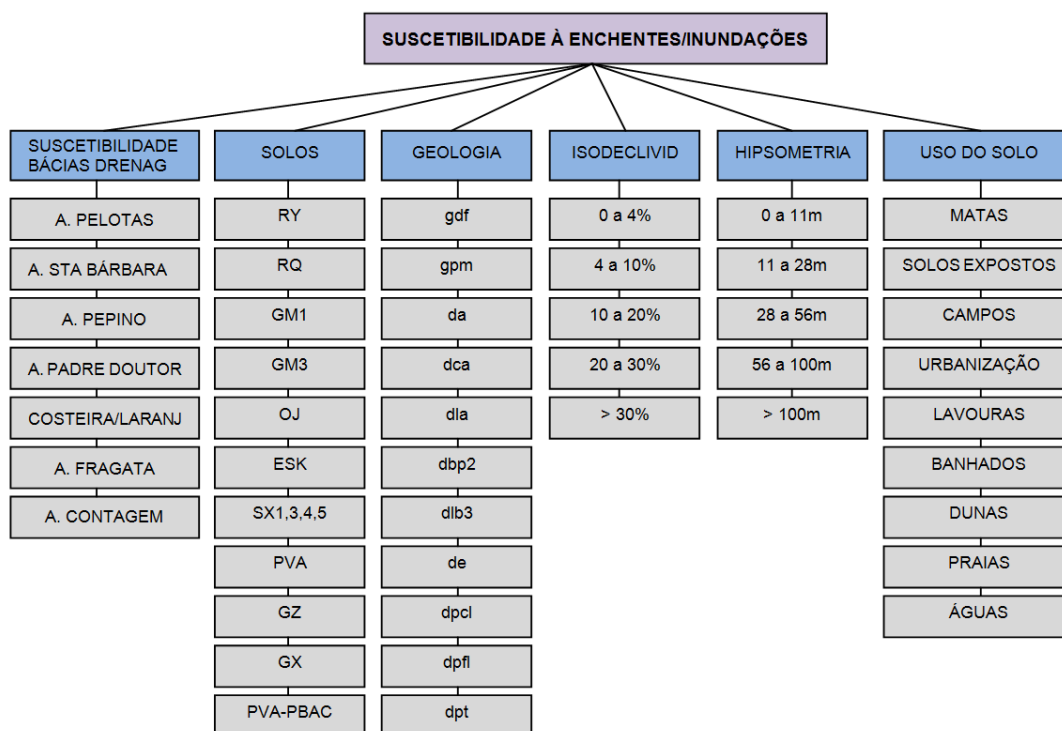


Figura 7.1: Estrutura hierárquica de critérios para aplicação do AHP ao mapeamento da suscetibilidade a inundações

Para o nível hierárquico mais baixo (classes dos planos de informações), como já visto, optou-se pela distribuição de pesos com base na análise e conhecimento de situações semelhantes. Isto porque, neste nível, a contribuição de cada atributo para ocorrência do fenômeno, ou é logicamente distribuída como no caso das isodeclividades e da hipsometria ou está diretamente relacionada às propriedades físicas do mesmo. Assim, o método AHP foi aplicado exclusivamente para definição do percentual de contribuição de cada um dos planos de informação do fenômeno estudado, ficando a matriz de comparação pareada, conforme a Tabela 7.9.

Tabela 7.9: Matriz de comparação pareada entre os PIs que compõem a análise da suscetibilidade a inundações

PI	MORFOM BH	PEDOLOGIA	GEOLOGIA	ISODECLIVID	HIPSOMETRIA	USO DO SOLO
MORFOM BH	1,00	3,00	5,00	1/4	1/4	1/2
PEDOLOGIA	1/3	1,00	4,00	1/5	1/4	1/3
GEOLOGIA	1/5	1/4	1,00	1/7	1/6	1/4
ISODECLIVID	4,00	5,00	7,00	1,00	2,00	4,00
HIPSOMETRIA	4,00	4,00	6,00	1/2	1,00	4,00
USO DO SOLO	2,00	3,00	4,00	1/4	1/4	1,00

O grau de predominância de um fator (condicionante) sobre o outro não é universal e tem de ser analisado em relação às características do ambiente físico em análise, principalmente à conformação do relevo. A importância da declividade em relação aos demais temas, por exemplo, em especial a altimetria, é substancialmente alta em áreas de relevo acidentado, mas diminui nas áreas da planície costeira onde as diferenças de altura entre os sistemas deposicionais conformam, entre outros compartimentos, as planícies de inundações dos cursos d'água. Desta forma, para a área de estudo, a isodeclividade possui importância moderada em relação à hipsometria, forte em relação ao uso do solo e de forte a muito forte em relação à pedologia. A morfometria das bacias hidrográficas, devido à baixa declividade na totalidade ou maior parte das mesmas, tem sua importância diminuída, sendo ligeiramente superior ao uso do solo (de equiparada à moderada) e moderadamente mais relevante que a pedologia que, igualmente em função do relevo, ganha maior magnitude.

O cálculo dos pesos (Tabela 7.10) é feito pela divisão de cada elemento da matriz de comparação pela somatória da coluna a que pertence, sendo o peso da cada plano a média aritmética da linha a que pertence.

Tabela 7.10: Cálculo dos pesos de cada um dos PI que compõem a análise da suscetibilidade `inundações

PI	MOR BH	PEDOL	GEOLOG	ISODECL	HIPSOM	USO SOLO	PESOS (Wi)	% Wi
MORFOM BH	0,09	0,18	0,19	0,11	0,06	0,05	0,1128	11,28%
PEDOLOGIA	0,03	0,06	0,15	0,09	0,06	0,03	0,0701	7,01%
GEOLOGIA	0,02	0,02	0,04	0,06	0,04	0,02	0,0330	3,30%
ISODECLIVID	0,35	0,31	0,26	0,43	0,51	0,40	0,3747	37,47%
HIPSOMETRIA	0,35	0,25	0,22	0,21	0,26	0,40	0,2801	28,01%
USO DO SOLO	0,17	0,18	0,15	0,11	0,06	0,10	0,1293	12,93%

O processo analítico hierárquico incorpora um cálculo matemático para verificação da consistência dos julgamentos levados a efeito na construção da matriz de comparação, o qual tem por base o conceito de que a existência de uma quantidade suficiente de dados possibilita a obtenção de outros, a partir destes. A razão de consistência (RC) define quão consistente foi o julgamento dos critérios quando da comparação par-a-par, sendo que valores de maior ordem representam maior inconsistência. O limite de admissibilidade de inconsistência é 0,10, havendo necessidade de revisão dos julgamentos, se RC assumir um valor maior. A razão de consistência é calculada através da Equação 7.2.

$$RC = \frac{IC}{IR}$$

Equação 7.2: Razão de consistência, onde: IC é o índice de consistência e IR é o índice de consistência randômico

O IC mede o quanto o autovetor máximo ( $\lambda_{\text{máx}}$ ) da matriz se afasta da ordem ( $n$ ) dessa matriz e é calculado pela Equação 7.3.

$$IC = \frac{(\lambda_{\text{máx}} - n)}{(n - 1)}$$

Equação 7.3: Índice de consistência, onde:  $\lambda_{\text{máx}}$  é o autovetor máximo e  $n$  o número de elementos da matriz de comparação pareada (ordem da matriz)

Quanto mais próximo de  $n$  for o autovetor máximo, maior é a coerência das comparações. O valor do IR foi determinado experimentalmente, com base na escala fundamental proposta por Saaty (1977). A Tabela 7.11, apresenta valores para o índice, com base na ordem da matriz de comparação.

Tabela 7.11: Índice de consistência randômico

Ordem	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte (Santos *et al.*, 2010)

O autovetor máximo ( $\lambda_{\text{máx}}$ ) pode ser calculado através da Equação 7.4.

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[A_w]_i}{w_i}$$

Equação 7.4 - Autovetor máximo, onde  $[A_w]_i$  é a matriz resultante do produto da matriz de comparação pelos pesos calculados e  $(w_i)$  são os pesos calculados.

A primeira operação é o cálculo dos valores de  $A_w$ , obtidos multiplicando-se a matriz de comparação (Tabela 7.9) pela matriz dos pesos calculados (Tabela 7.10). Os valores resultantes da operação são apresentados na Tabela 7.12.

Tabela 7.12: Valores calculados para  $A_w$ 

PI	$A_w$
MORFOM BH	0,7166
PEDOLOGIA	0,4278
GEOLOGIA	0,2056
ISODECLIVID	2,4850
HIPSOMETRIA	1,9144
USO DO SOLO	0,8610

A segunda operação consiste no cálculo do autovetor máximo ( $\lambda_{\max}$ ):

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[A_w]_i}{w_i} = \frac{1}{6} \left( \frac{0,7166}{0,1128} + \frac{0,4278}{0,0701} + \frac{0,2056}{0,0330} + \frac{2,4850}{0,3747} + \frac{1,9144}{0,2801} + \frac{0,8610}{0,1293} \right) = 6,4681$$

A terceira operação é a determinação do IC:

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{6,4681 - 6}{6 - 1} = 0,09364$$

E, por fim, o cálculo da RC:

$$RC = \frac{IC}{IR} = \frac{0,09364}{1,24} = 0,07551$$

O resultado da RC ficou abaixo do limite de admissibilidade de 0,10, demonstrando que os valores numéricos atribuídos aos julgamentos comparativos, bem como os pesos calculados, apresentam-se coerentes. O cruzamento dos planos de informações (álgebra de mapas) foi realizado com base na seguinte equação:

$$SEI = [(MBD \times 0,1128) + (P \times 0,0701) + (G \times 0,0330) + (ID \times 0,3747) + (HP \times 0,2801) + (US \times 0,1293)]$$

Equação 7.5: Suscetibilidade a inundações, onde: MDB = morfologia das bacias hidrográficas; P = pedologia; G = geologia; ID = isodeclividades; HP = hipsometria; e US = uso do solo

A operação algébrica de mapas, realizada em software SIG, resultou em uma grade numérica com valores, por célula, que variam de 1,47 a 5,00. Com os valores passando de inteiros a fracionários, foi necessária uma nova distribuição de classes, agora por intervalo de valores, em contraposição aos números inteiros fixos. Foram definidos, então, cinco

intervalos iguais de valores, cada um correspondendo a uma classe de suscetibilidade, conforme o mapa da Figura 7.2.

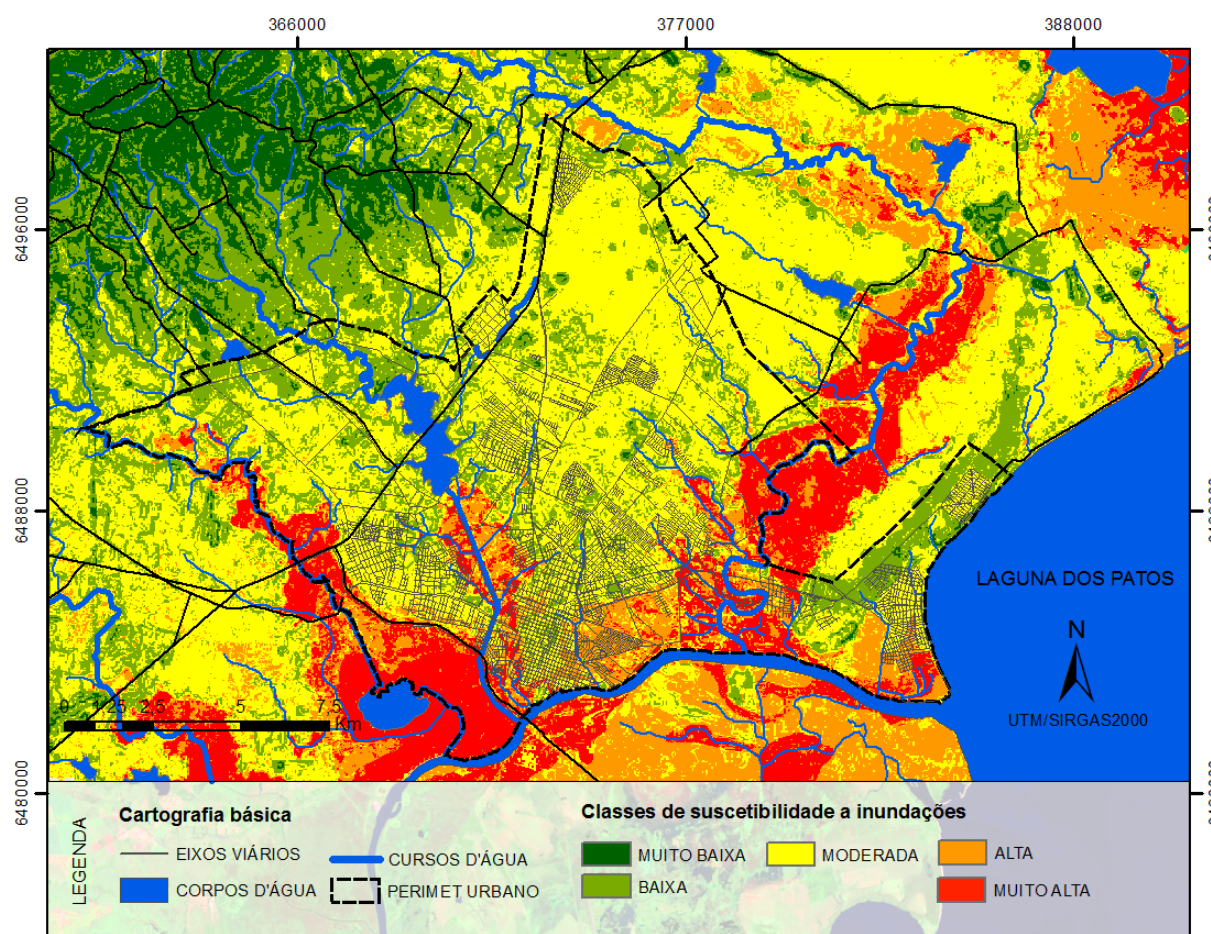


Figura 7.2: Mapa de suscetibilidade a inundações

### 7.1.6 Conferência e validação

Para conferência e validação do mapeamento, foram prospectados junto ao à Defesa Civil e o Serviço de Mapeamento da Prefeitura de Pelotas, os dados espaciais referentes aos três últimos grandes eventos ocorridos no município (anos 2004, 2009 e 2015). Como o documento elaborado trata da suscetibilidade natural dos terrenos à ocorrência de inundações, não sendo, portanto, consideradas as obras e medidas de drenagem pluvial e de proteção contra o fenômeno, as áreas atingidas deverão ser, naturalmente, menores que as áreas mapeadas. A existência de uma ou mais áreas atingidas que não foram classificadas como de alta ou muito alta suscetibilidade, demandam a revisão do mapeamento, com sua reformulação ou a constatação de causa não natural (intervenção antrópica).



O mapeamento pela prefeitura da inundação de maio de 2004 teve como principais objetivos: (i) instrumentalizar o Decreto Municipal 4.629/2004 (situação de emergência) e; (ii) o cadastramento de moradias atingidas para a liberação, pela CEF, do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço - FGTS dos responsáveis pelos domicílios. Diante disso, o mapeamento, sob a forma de poligonais de atingimento, ficou restrito às áreas ocupadas e limitado, basicamente, ao perímetro urbano do município.

O mapeamento da inundação de janeiro de 2009, que acompanha o Decreto Municipal 5.142/2009 (situação de emergência), não apresenta as poligonais das áreas atingidas, as quais foram localizadas através de pontos (representados por círculos no mapa) e dos eixos de alguns trecho de vias. O mapeamento é deficiente, pois houve áreas atingidas que não constam do mapa.

Em virtude da inundação de outubro de 2015, a prefeitura emitiu dois decretos: o 5876/2015, que declara a situação de emergência e o 5893/2015 que concede redução no Imposto Territorial e Predial Urbano - IPTU para o imóveis prediais atingidos. O mapa que acompanha o decreto 5893/2015 se resume às áreas atingidas que possuíam edificações, não constando, portanto, as demais áreas. Por este motivo, com base em fotografias aéreas (sobrevôo) fornecidas pela PMPel, foi feita uma complementação do mapeamento de 2015, incluindo novas áreas alagadas, identificadas nas imagens (Figura 7.3).

As áreas e locais indicados nos mapas supra referidos foram digitalizados e sobrepostos no SIG ao mapa de suscetibilidade, conforme a Figura 7.4.

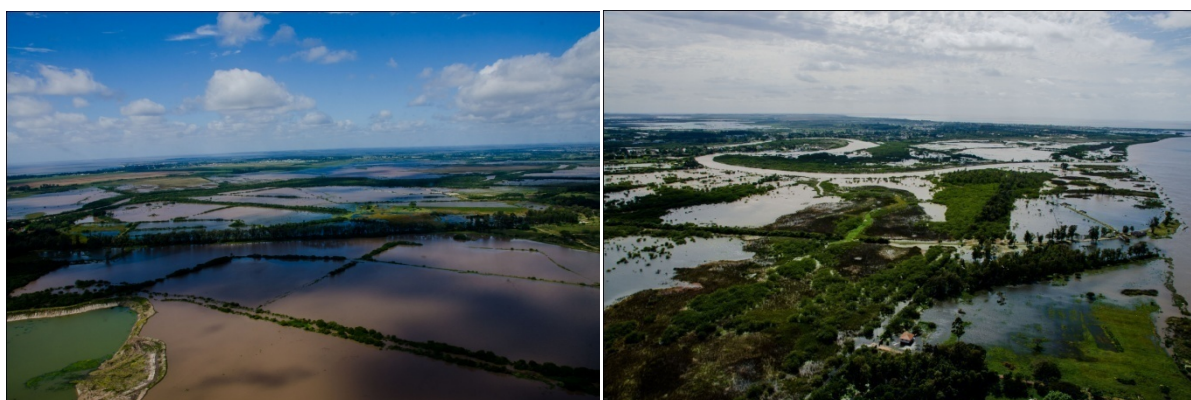


Figura 7.3: Imagens aéreas de áreas alagadas pela inundação de 2015 não presentes no mapeamento da PMPel: à esquerda - planície de inundação do Arroio Pelotas; à direita - planície de inundação do Canal São Gonçalo (PMPel, 2015)

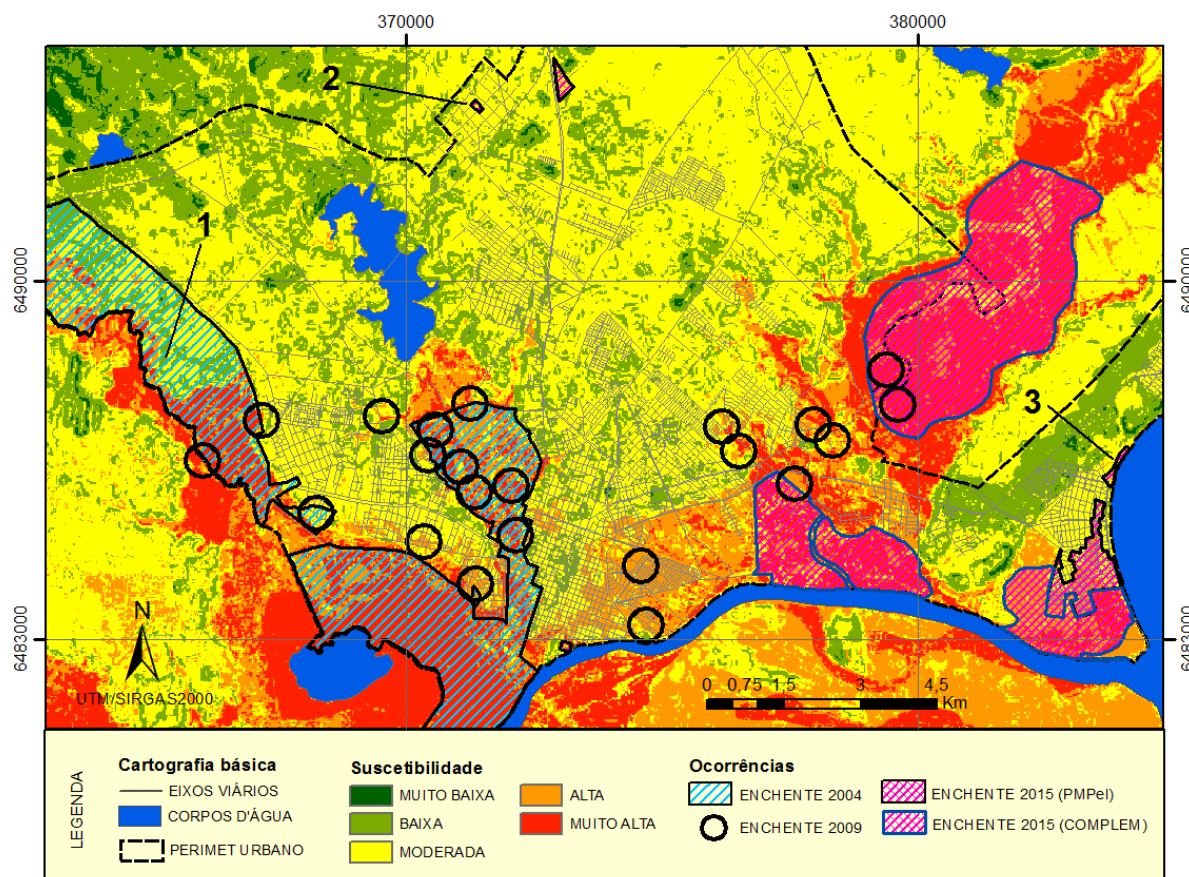


Figura 7.4: Mapa da sobreposição das poligonais e locais atingidos pelas inundações dos anos 2004, 2009 e 2015 com a suscetibilidade a inundações

O evento extremo de 2004 atingiu fortemente as bacias do Arroio Fragata e do Santa Bárbara. No mês de maio deste ano ocorreu um precipitação de 140 mm em 12 horas e outra de 216,8 mm em 24 horas, tendo o acumulado mensal atingido 491,4 mm. Superou, assim, em muito, a normal climatológica para aquele mês, que era de 100,7 mm (DAMÉ *et al.*, 2009). Como consequência, houve o rompimento de um trecho do dique de contenção do Canal Santa Bárbara, com a inundação de grande parte de sua planície de inundação. Também houve a inundação de boa parte da planície de inundação do Arroio Fragata. No total, foram atingidas cerca de 1.500 residências, desabrigando aproximadamente de 300 pessoas (PELOTAS, 2004).

O levantamento realizado pela Prefeitura de Pelotas coincide, na quase totalidade, com áreas mapeadas como de alta e muito alta suscetibilidade; exceção se faz apenas para área no extremo oeste da zona urbana onde o mapa da prefeitura aponta o atingimento de áreas mapeadas como de suscetibilidade moderada (indicação de nº 1 no mapa). Nessa área, zonas de moderada suscetibilidade estão entremeadas a zonas de alta suscetibilidade. No local, marcado pela transição entre áreas de depósito aluvial altos e de depósitos fluviais (planície de inundação do Arroio Fragata), há presença de imóveis de grandes dimensões

(que iniciam nas áreas mais elevadas e se estendem até o Arroio Pelotas, o que explica a maior abrangência do mapeamento da prefeitura, não impondo, portanto, necessidade de revisão do mapeamento da suscetibilidade (Figura 7.5).

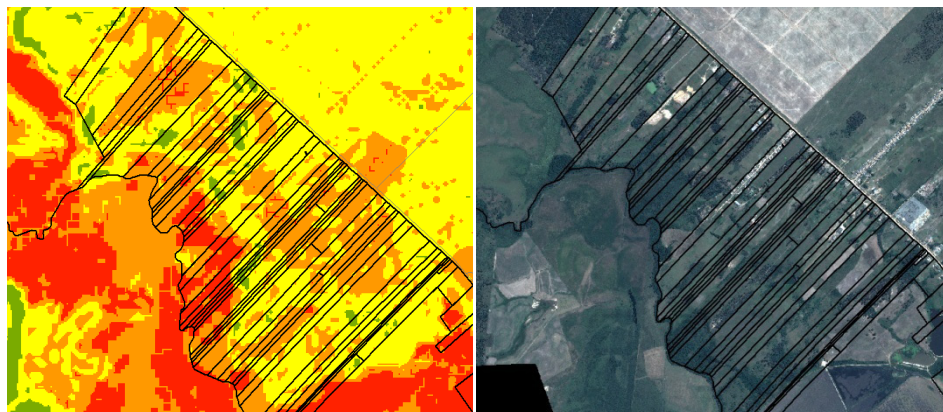


Figura 7.5: Área de conflito entre o mapeamento de suscetibilidade e a poligonal de atingimento da inundação de 2004, elaborada pela PMPel: à esquerda - conformação das propriedade sobre extrato do mapa de suscetibilidade; à direita - conformação das propriedades sobre imagem de satélite do ano 2016

O evento de janeiro de 2009 se caracterizou por uma grande intensidade de chuvas em um período curto de tempo. Segundo Saldanha et al. (2012), a chuva medida na Estação Experimental da Cascata é, possivelmente, a maior já medida no Brasil para um período de até 24 horas. As estações da Embrapa de Pelotas registraram 418 mm de chuva (Sede da Embrapa Pelotas) e 586 mm (Estação Experimental da Cascata), ambos para um período de 24 horas. A chuva, que ocorreu de forma mais intensa na zona rural (Planalto Sul-Riograndense), gerou um enorme volume de água que, ao chegar à planície costeira (na área de estudo), rompeu estradas e pontes, inundando boa parte das várzeas dos arroios Pelotas e Fragata. Apesar do mapeamento realizado pela PMPel não delimitar as áreas atingidas, limitando-se, isto sim, a indicar as mesmas através de círculo, todos os pontos mapeados pela prefeitura estão contidos em áreas de alta e muito alta suscetibilidade.

A inundação de 2015, que culminou com o alagamento de boa parte da bacia Costeira/Laranjal e de parte terminal da bacia do Arroio Pelotas, além de pontos dispersos na zona urbana de Pelotas, foi consequência de uma longo período de chuvas intensas nos meses de setembro e outubro daquele ano (277,8 mm em setembro e 299 mm em outubro), conforme Pelotas (2015). Os altos índices pluviométricos associados aos ventos Leste e Sudeste elevaram o nível da Laguna dos Patos e do São Gonçalo e provocaram o represamento do último pelo primeiro, causando a inundação de áreas baixas junto a estes dois corpos hídricos e ao Arroio Pelotas. As áreas mapeadas pela PMPel, em 2015, e o complemento realizado com base nas fotografias aéreas encontram-se na quase totalidade

sobre as áreas de suscetibilidade alta ou muito alta. A exceção são as áreas indicadas como nº 2 e 3 no mapa da Figura 7.4; a primeira delas, (nº 2), localizada no loteamento Sítio Floresta e a segunda, (nº 3), no Laranjal, na orla da Laguna dos Patos.

A área do Sítio Floresta, apesar de não apresentar atributos físicos que justifiquem, é local de constantes alagamentos, que ocorrem mesmo em eventos de menor magnitude em relação aos analisados. Os problemas de drenagem no local decorrem, em maior escala, da ação antrópica: implantação do loteamento e da BR 116 e ocupação de parte da Sanga da Barbuda, que esta incluída no sistema natural de drenagem da região. Caber resaltar, assim, que suscetibilidade natural dos terrenos do Sítio Floresta às inundações é moderada, conforme o mapeamento, e que os alagamentos ocorridos na área se devem à influência de fatores não intrínsecos às suas características físicas.

Conforme fotografias aéreas tomadas pela prefeitura algumas horas após o pico do evento de 2015 (Figura 7.6), a área de número 3 (orla da Laguna dos Patos, no Laranjal) foi superestimada pelo mapeamento do poder público. As imagens não apresentam evidências de acúmulo de água que correspondam ao polígono mapeado. As lâminas de água identificadas resumem-se a pequenas depressões do relevo e à parte do sistema viário, devido à compactação do solo. Não há dados que indiquem estar inadequado o mapeamento da suscetibilidade natural como moderada para o local, tendo em vista as propriedades físicas dos terrenos e a própria escala do mapeamento.



Figura 7.6: Fotografias aéreas de área no Laranjal tomadas algumas horas após o pico da inundação de 2015: à esquerda - sobreposição com o mapeamento da PMPel; à direita: extremo sul da área mapeada. Ambas imagens apontam para existência de superestimação da área atingida (adaptado de PMPel, 2015)

## 7.2 CARTA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO

Para definição dos planos de informações utilizados no mapeamento da suscetibilidade à erosão, bem como dos pesos relativos das variáveis pertencentes a cada um dos planos, foram analisados os trabalhos de Camargo (2012), Silva & Oliveira (2015), Lopes &

Saldanha (2016), Souza, J. (2010), Martine (2006), Silva, R. (2009), Calderano Filho (2014), Torres (2014) e Bastos *et al.* (2003).

A erosão dos solos consiste em um fenômeno condicionado pelas características e ações de uma série de fatores ambientais. No caso da erosão de origem hídrica, se tem, de um lado, a erosividade, a qual configura a ação erosiva da chuva; de outro, a erodibilidade, representada pela menor ou maior facilidade com que as partículas do solo são destacadas e transportadas pela ação do agente erosivo (BASTOS, 1999). Na avaliação da suscetibilidade de perda do solo por erosão também deve, no mínimo, serem avaliados os fatores topográficos e o uso e cobertura do solo. Nos trabalhos avaliados, além da erodibilidade dos tipos de solos, os fatores comumente utilizados são os topográficos (em geral representado pela declividade), a vegetação e o uso do solo. Em alguns estudos como, por exemplo, os baseados na metodologia da EESC, verifica-se a utilização de outros atributos, tais como a litologia e o potencial de escoamento superficial. Para o presente trabalho, os atributos selecionados foram a pedologia, a geomorfologia, a declividade, a curvatura do relevo, o uso do solo e a intensidade de cobertura vegetal.

### 7.2.1 PI Pedologia

A definição dos pesos relativos do PI Pedologia se deu a partir da análise das principais características físicas, químicas e morfológicas que influem diretamente na resistência à erosão das diferentes classes de solos mapeadas. De acordo com Bastos *et al.* (2003), a **textura** influi na capacidade de infiltração e absorção pluvial, bem como na coesão, relacionando-se diretamente à resistência e à remoção de partículas; o **gradiente textural** e a **espessura** influem na capacidade de infiltração e no fluxo das águas subsuperficiais e superficiais; a **permeabilidade, densidade e porosidade** determinam a maior ou menor capacidade de infiltração pluvial; as **propriedades químicas, biológicas e mineralógicas** influem no estado de agregação e coesão entre as partículas, interferindo na estrutura e na resistência à remoção de partículas por ação das águas da chuva; por fim, a estrutura influi na capacidade de infiltração e absorção pluvial e na remoção de partículas, podendo, em determinados casos, favorecer a concentração do escoamento superficial.

Os pesos atribuídos às unidades do PI Pedologia (Tabela 7.13: Definição de pesos de erodibilidade - unidades do PI Pedologia), além da análise das propriedades particulares dos solos da área de estudo, foram baseados em Bastos *et al.* (2003), Silva & Oliveira (2015) e Souza, J. (2010).

Tabela 7.13: Definição de pesos de erodibilidade - unidades do PI Pedologia

Sigla	Classes de Solo	Pesos
RY	NEOSSOLO FLÚVICO	2
RQ	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO	5
GM1	GLEISSOLO MELÂNICO	1
GM3	COMPLEXO DE: GLEISSOLO MELÂNICO, GLEISSOLO HÁPLICO, ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO E GLEISSOLO SÁLICO	1
OJ	COMPLEXO DE ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO E GLEISSOLO MELÂNICO	1
ESK	ESPODOSSOLO FERRI-HUMICO HIDROMÓRFICO	3
SX1,3,4,5	PLANOSSOLO HÁPLICO	2
PVA	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO	3
GZ	GLEISSOLO SÁLICO	1
GX	GLEISSOLO HÁPLICO	3
PVA-PBAC	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO	3

(Baseado em: Bastos *et al.*, 2003; Silva & Oliveira, 2015; Souza, J., 2010)

### 7.2.2 PI Isodeclividades e PIs Curvatura do relevo

A declividade é um dos chamados fatores topográficos que exercem influência na erosão. Soma-se a ela, o comprimento de rampa, a forma da vertente e área do interflúvio. O conhecido fator topográfico LS da Equação Universal de Perda do Solo - USLE (WISCHMEIER & SMITH, 1978), por exemplo, é calculado com base no produto da declividade pelo comprimento de rampa da encosta (BASTOS *et al.*, 2003). Na presente metodologia, são utilizadas, de forma isolada, a declividade (sob a forma de isovalores) e as curvaturas vertical e horizontal do relevo (curvatura das vertentes). Os pesos atribuídos às classes do PI Isodeclividades seguem o fato de que, à medida que as declividades aumentam, há um incremento no potencial de escoamento superficial, contribuindo com o aumento das taxas de perda de solo por erosão (Tabela 7.14).

Tabela 7.14: Definição de pesos para as classes do PI Isodeclividades

Classes de declividade	Pesos
0 a 4%	1
4 a 10%	2
10 a 20%	3
20 a 30%	4
> 30%	5

Para as curvaturas do relevo, a atribuição de pesos segue o fato de que a concentração do fluxo tende a um maior transporte de sedimentos do que os movidos pelos fluxos mais difusos, conforme Tabela 7.15.

Tabela 7.15: Definição de pesos para a curvatura do relevo

Classes de curvatura	Pesos
Convergente/côncava	5
Convergente/retilínea	4,5
Convergente/convexa	4
Planar/côncava	3,5
Planar /retilínea	3
Planar /convexa	2,5
Divergente/côncava	2
Divergente /retilínea	1,5
Divergente /convexa	1

### 7.2.3 PI Uso do Solo

Os pesos das classes de uso do solo mapeados foram baseados no trabalhos de Silva (2009), Camargo (2012), Lopes & Saldanha (2016), Martine (2006) e Torres (2014) e distribuídos conforme a Tabela 7.16: Definição de pesos para o PI Uso do Solo.

Tabela 7.16: Definição de pesos para o PI Uso do Solo

Usos do Solo	Pesos
Matas	2
Solos Expostos	5
Campos	3
Urbanização	3
Lavouras	4
Banhados	2
Dunas	5
Praias	2
Águas	1

Baseado em: Silva, 2009; Camargo, 2012; Lopes & Saldanha, 2016; Martine, 2006; Torres, 2014)

### 7.2.4 PI Densidade da cobertura vegetal

A cobertura vegetal atua de diferentes formas na atenuação do processo erosivo: (i) protege a superfície do solo do impacto direto da água da chuva e, por consequência, reduz a erosão do tipo *splash*; (ii) atua na contenção mecânica do solo através de um sistema radicular que une os grãos e aumenta a coesão do solo; (iii) diminui a velocidade do escoamento superficial por constituir-se um obstáculo a circulação pluvial; (iv) atenua, por meio da interceptação da folhas, o volume de água que chega ao solo; (v) aumenta, por meio das raízes, a permeabilidade do solo e, desta maneira, reduz o escoamento superficial.

Constata-se, portanto, que a ponderação de pesos obedece ao fato de que, quanto menor é a densidade da vegetação maior é a suscetibilidade dos solos à erosão. As lavouras, destacadas devido às suas características particulares já comentadas, recebem um peso que não considera práticas conservacionistas de manejo do solo (Tabela 7.17).

Tabela 7.17: Definição do pesos para o PI Densidade da cobertura vegetal

Densidade da cobertura vegetal	Pesos
Sem vegetação	5
Lavouras	4
Baixa densidade	3
Média densidade	2
Alta densidade	1

### 7.2.5 Cruzamento dos Planos de Informações

Já estando previamente definidos os problemas e objetivo (mapeamento da suscetibilidade à erosão laminar), a estrutura hierárquica de critérios para aplicação do método Analytic Hierarchy Process (AHP) foi definida conforme a Figura 7.7.

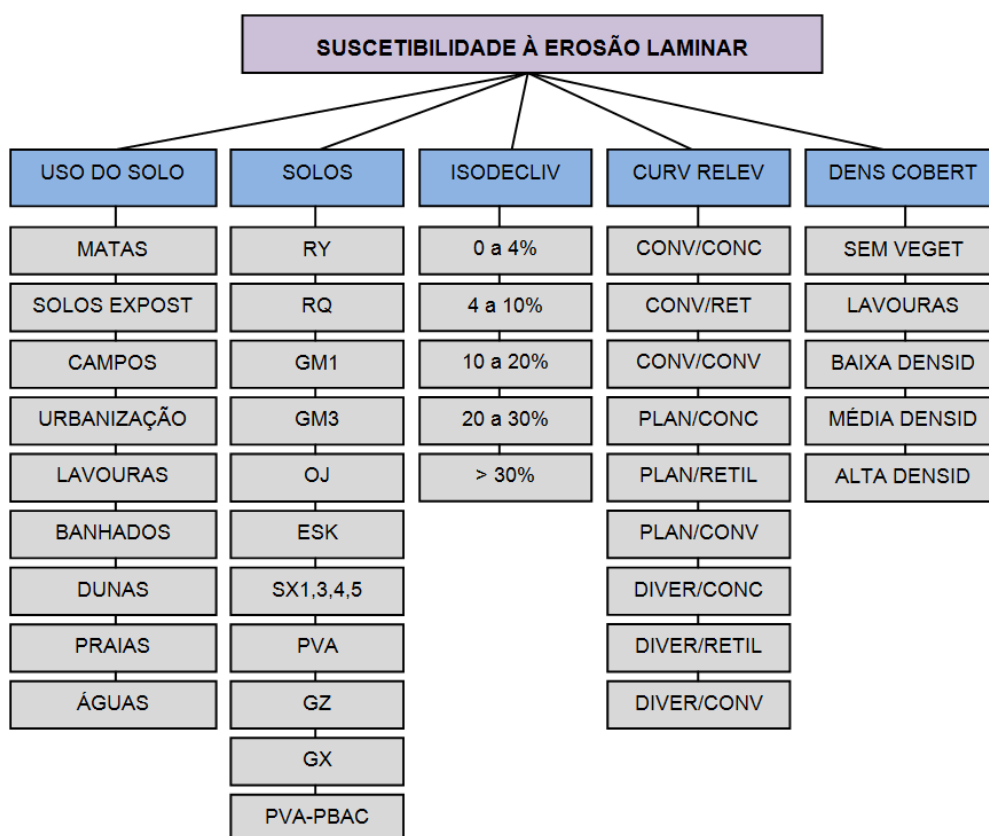


Figura 7.7: Estrutura hierárquica de critérios para aplicação do AHP ao mapeamento da suscetibilidade à erosão



Do mesmo modo que, no mapeamento da suscetibilidade às inundações, a distribuição de pesos para as diferentes classes dos atributos utilizados baseou-se na análise e conhecimento de situações semelhantes, ficando a aplicação do método AHP restrito à definição dos pesos relativos (percentuais de contribuição) de cada um dos atributos na ocorrência do fenômeno em estudo (erosão). A matriz de comparação pareada restou definida conforme a Tabela 7.18.

Tabela 7.18: Matriz de comparação pareada entre os PI que compõem a análise da suscetibilidade à erosão

PI	USO DO SOLO	PEDOLOGIA	ISODECLIVIDES	CURVAT RELEVO	COBERT VEGET
USO DO SOLO	1,00	1/3	1/2	4,00	2,00
PEDOLOGIA	2,00	1,00	2,00	6,00	4,00
ISODECLIVIDADES	2,00	1/2	1,00	5,00	3,00
CURVATURA DO RELEVO	1/4	1/6	1/5	1,00	1/3
COBERTURA VEGETAL	1/2	1/4	1/3	3,00	1,00

Levando em consideração as características da área de estudo, os planos de informações Pedologia e Isodeclividade possuem importância quase equiparada, com pequena prevalência para a Pedologia. Por sua vez, a relevância desses dois temas, em relação ao uso do solo e à densidade da cobertura vegetal, varia em torno de moderada. Ambos temas possuem forte destaque em relação à curvatura do relevo, que é o tema de menor significância em relação aos demais. O cálculo dos pesos relativos dos planos de informações é apresentado na tabela abaixo (Tabela 7.19).

Tabela 7.19: Cálculo dos pesos de cada um dos PIs que compõem a análise da suscetibilidade à erosão

PI	USO SOLO	PEDOLOG	ISODEC	CUR RELEV	COB VEGET	PESOS (Wi)	% Wi
USO DO SOLO	0,17	0,15	0,12	0,21	0,19	0,1700	17,00%
PEDOLOGIA	0,35	0,44	0,50	0,32	0,39	0,3982	39,82%
ISODECLIVIDADES	0,35	0,22	0,25	0,26	0,29	0,2743	27,43%
CURVAT DO RELEVO	0,04	0,07	0,05	0,05	0,03	0,0504	5,04%
COBERT VEGETAL	0,09	0,11	0,08	0,16	0,10	0,1071	10,71%

Da mesma forma que realizado no mapeamento da suscetibilidade a inundações, foi verificada a consistência do resultado através da aplicação da formulação matemática proposta por Satty (1977). A primeira operação foi o cálculo dos valores de  $A_w$ , obtidos

multiplicando-se a matriz de comparação (Tabela 7.18) pela matriz dos pesos calculados (Tabela 7.19). Os valores resultantes da operação são apresentados na Tabela 7.20.

Tabela 7.20: Valores calculados para  $A_w$

PI	$A_w$
USO DO SOLO	0,8557
PEDOLOGIA	2,0176
ISODECLIVIDADES	1,3867
CURVATURA DO RELEVO	0,2498
COBERTURA VEGETAL	0,5343

A segunda operação consistiu no cálculo do autovetor máximo ( $\lambda_{\max}$ ):

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[A_w]_i}{w_i} = \frac{1}{5} \left( \frac{0,8557}{0,1700} + \frac{2,0176}{0,3982} + \frac{1,3867}{0,2743} + \frac{0,2498}{0,0504} + \frac{0,5343}{0,1071} \right) = 5,0202$$

A terceira operação é a determinação do IC:

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{5,0202 - 5}{5 - 1} = 0,0051$$

E, por fim, o cálculo do RC:

$$RC = \frac{IC}{IR} = \frac{0,0051}{1,12} = 0,0045$$

O resultado da RC ficou abaixo do limite de admissibilidade de 0,10, demonstrando que os valores numéricos atribuídos aos julgamentos comparativos, bem como os pesos calculados, apresentam-se coerentes. Por sua vez, o cruzamento dos planos de informações (álgebra de mapas) foi realizado com base na seguinte equação (Equação 7.6):

$$SEL = [(US \times 0,1700) + (P \times 0,3982) + (ID \times 0,2743) + (CR \times 0,0504) + (CV \times 0,1071)]$$

Equação 7.6: Suscetibilidade à erosão laminar, onde: US = uso do solo; P = pedologia; ID = isodeclividades; CR = curvatura do relevo; CV = densidade da cobertura vegetal

A operação algébrica de mapas, realizada em software SIG, resultou em um grade numérica com valores, por célula, que variam de 1,48 a 4,95. Sendo assim, foi realizada uma nova

distribuição de classes, através da divisão dos valores em cinco intervalos iguais, cada um correspondendo a uma classe de suscetibilidade, conforme o mapa da Figura 7.8.

No mapa, aparecem hachurados os terrenos correspondentes à classe pedológica dos planossolos. O destaque se deve à potencial dispersividade (BASTOS, C. 2004) deste solo, ou seja, a facilidade das argilas em dispersar em água, a qual propicia processos erosivos superficiais e subsuperficiais, que podem ocorrer, especialmente, se removida sua cobertura por solos do horizonte A e pela vegetação.

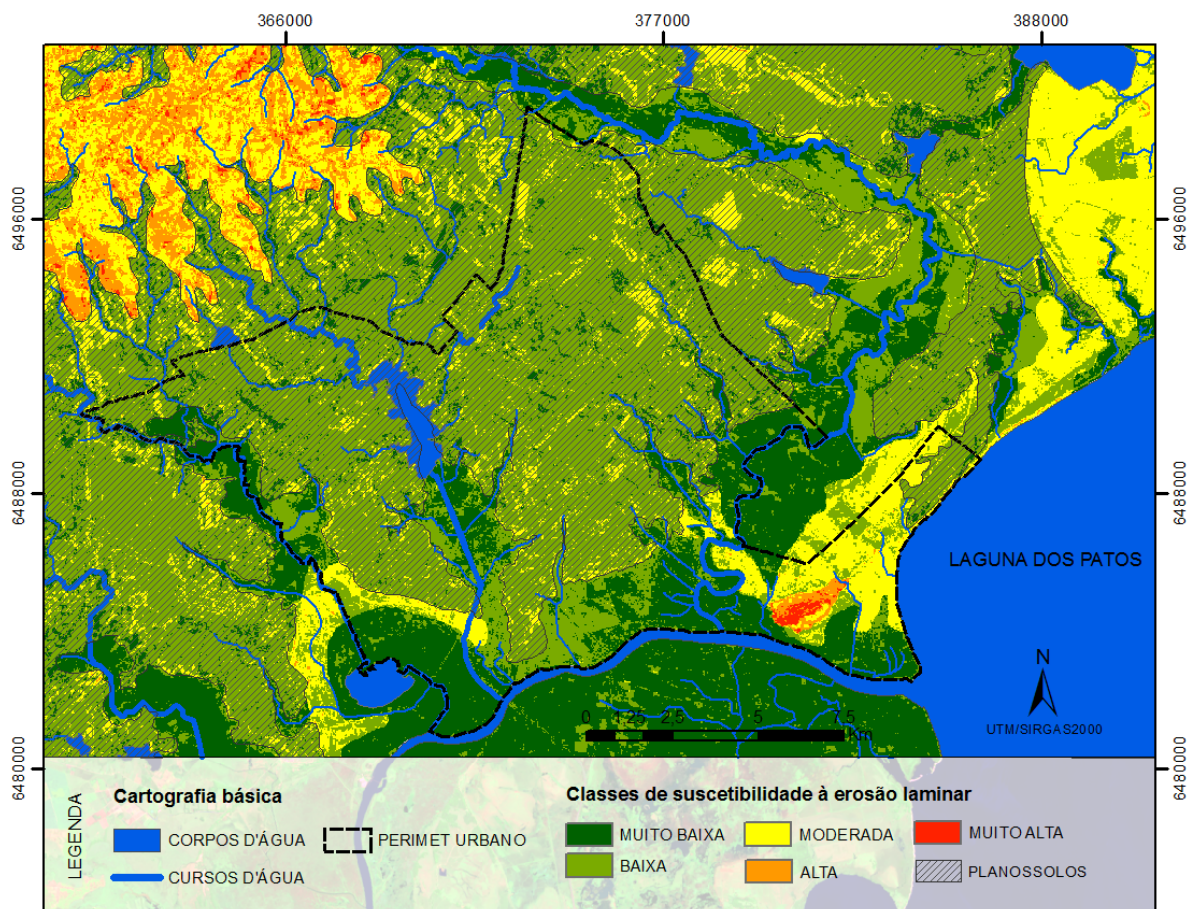


Figura 7.8: Mapa de suscetibilidade à erosão laminar

## 7.2.6 Conferência e validação

A conferência e validação do mapa foi realizada através de levantamento de campo em áreas mapeadas como de muito alta, alta, moderada e baixa suscetibilidade, nos locais indicados na Figura 7.9.

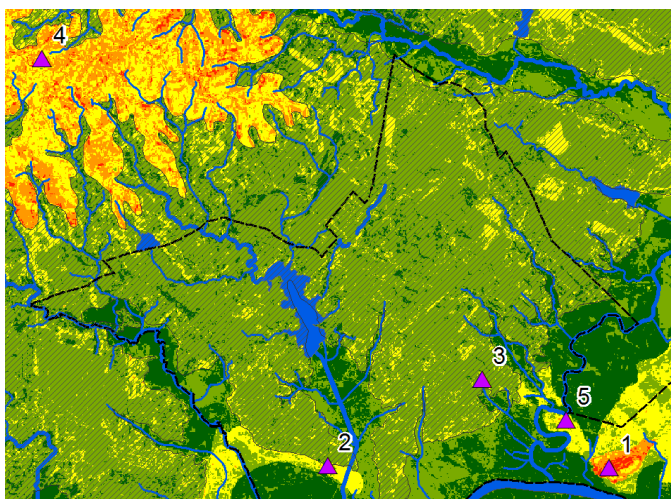


Figura 7.9: Locais de investigação de ocorrência de processos erosivos

No local de número 1, mapeado como de alta suscetibilidade à erosão, foi constatada a ocorrência de intenso processo erosivo que se estende desde a erosão laminar, que conferiu aspecto rugoso aos terrenos, até o surgimento de ravinas (Figura 7.10). Os processos erosivos locais estão fortemente associados ao alto grau de erodibilidade do Neossolo Quartzarênico órtico e à atividade antrópica desregrada que ocasionou a remoção de parte da camada vegetal.



Figura 7.10: Processos erosivos no local de nº 1

No local de número 2, mapeado como de suscetibilidade moderada, observou-se, em terrenos do Loteamento Visconde da Graça, próximos à linha férrea Pelotas-Bagé, sem cobertura vegetal, a ocorrência de processo erosivo laminar que imprimiu considerável rugosidade aos terrenos (Figura 7.11a). A mesma ocorrência de processos erosivos laminares foi constatada no local de nº 3 (mapeado como de suscetibilidade moderada), mas com uma menor rugosidade dos terrenos (Figura 7.11b).



Figura 7.11: A (esquerda): processo erosivo no local de nº 2; b (direita): no local de nº 3

No local de número 4, mapeado como de suscetibilidade alta, devido, principalmente, à ocorrência de declividades entre 20 e 30%, associadas a Argissolo Vermelho-Amarelo, foram observados processos erosivos em locais de pouca ou nenhuma cobertura vegetal (Figura 7.12a). Por fim, no local de número 5, mapeado como de baixa suscetibilidade, em local de planossolo hidromórfico, foi constatada a ocorrência de processo erosivo devido à remoção da vegetação e do horizonte superficial A e à consequente dispersão de finos do solo em água (Figura 7.12b).



Figura 7.12: a: Processos erosivos no local de nº 4 ; b: Processos erosivos no local de nº 5

Embora o mapa de suscetibilidade à erosão laminar tenha sido validado pelo levantamento de campo, observa-se que os processos erosivos são dependentes, em grande escala, do uso e da cobertura do solo. Por consequência, o mapeamento é variável no tempo. Muitas áreas mapeadas apresentam suscetibilidade moderada, em virtude da exposição do solo pelo uso à época da tomada da imagem de satélite utilizada, como nos casos de determinadas lavouras e das obras urbanas de maior extensão (em especial os

loteamentos). Deste modo, com o objetivo de melhorar a interpretação do mapa de suscetibilidade à erosão, foi elaborado um mapa auxiliar, a partir dos PIs Pedologia, Isodeclividades e Curvatura do Relevo, ou seja, da suscetibilidade dos terrenos à erosão independente do uso e cobertura do solo (Figura 7.13).

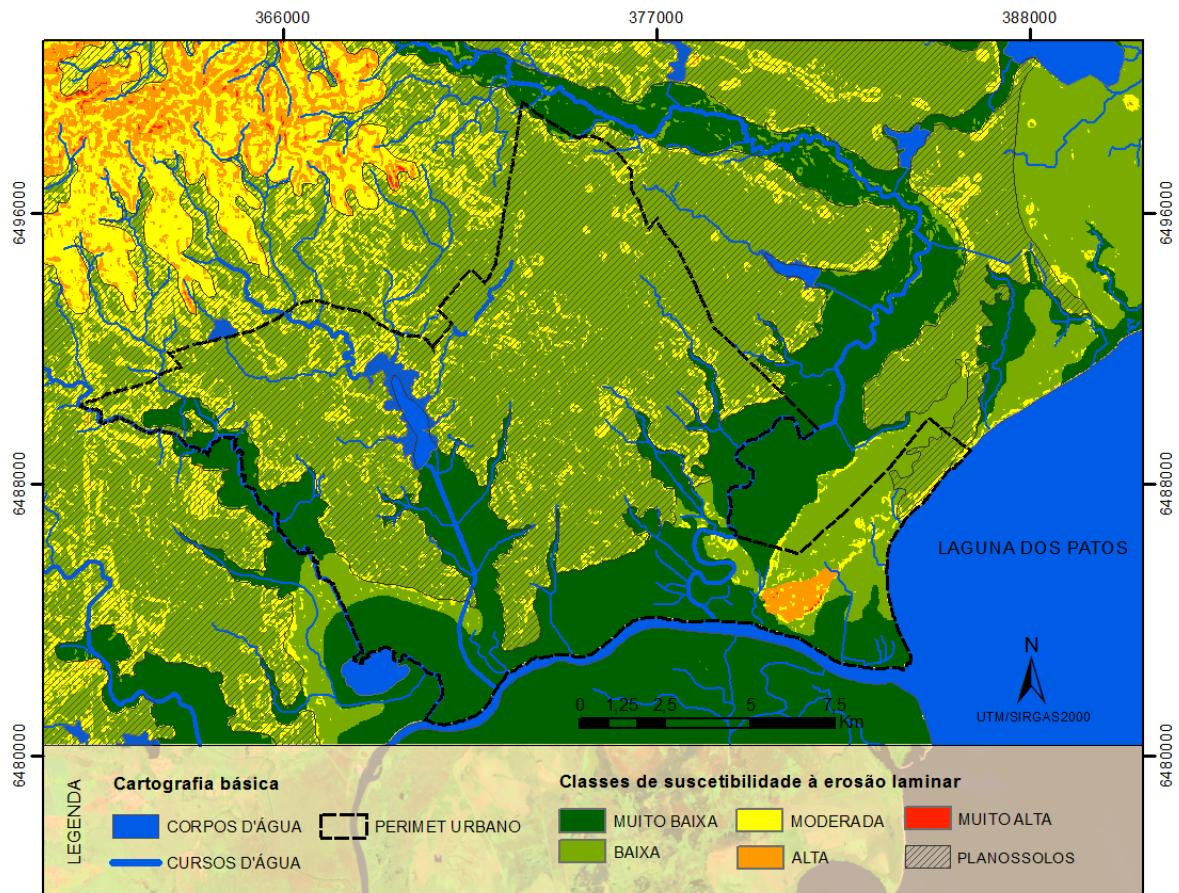


Figura 7.13: Mapa auxiliar (referência) de suscetibilidade à erosão, elaborado sem considerar o uso e a cobertura do solo

## Capítulo 8 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA: ETAPA 4 - MAPEAMENTO DE SEMIDETALHE

---

O mapeamento da etapa de semidetalhe é representado pela aptidão dos terrenos à urbanização e tem, como área inicial de análise, a zona urbana do município. A partir da simulação e análise do processo de crescimento espacial da cidade, o mapeamento toma a direção das áreas sujeitas ao crescimento urbano (vazios urbanos) e termina com a indicação de áreas prioritárias ao mapeamento futuro, em escala de detalhe.

### 8.1 ADEQUAÇÃO DA ESCALA DAS SUSCETIBILIDADES

Conforme a sequência de procedimentos estabelecida, os mapas de suscetibilidades conformam a base inicial de dados para mapeamento de aptidão à urbanização. A utilização desses mapas, no entanto, requer a adequação de suas resoluções espaciais para a escala de mapeamento da aptidão, que é maior. Para tanto, exigiu-se o aumento de escala dos planos de informações que, logo após, foram novamente cruzados e, com isso, os mapas de suscetibilidade regeados na escala adequada. Não havendo dados que indicassem a necessidade da criação de novas classes dentro de cada um dos planos, o aumento de escala limitou-se, na maioria dos planos, ao refinamento dos limites espaciais entre suas classes.

#### 8.1.1 Aumento de Escala dos Planos de Informações

A base principal para o refinamento dos limites das classes do planos de informações utilizados na construção de cada um dos mapas de suscetibilidade foi Modelo Digital de Terreno da zona urbana (MDT Urbano), seguido pelo conjunto de ortofotos digitais e imagens do satélite Plêiades.

##### 8.1.1.1 Aumento de Escala dos PIs Solos e Geologia

O aumento de escala dos PIs Solos e Geologia foi realizado por meio da revetorização dos limites das classes a partir do MDT Urbano (refinamento de limites). A Figura 8.1 mostra a diferença de resolução espacial entre o MDE TOPODATA, utilizado na etapa geral, e o MDT

Urbano, empregado na etapa de semidetalhe, que permitiu o aumento na escala dos PIs utilizados.

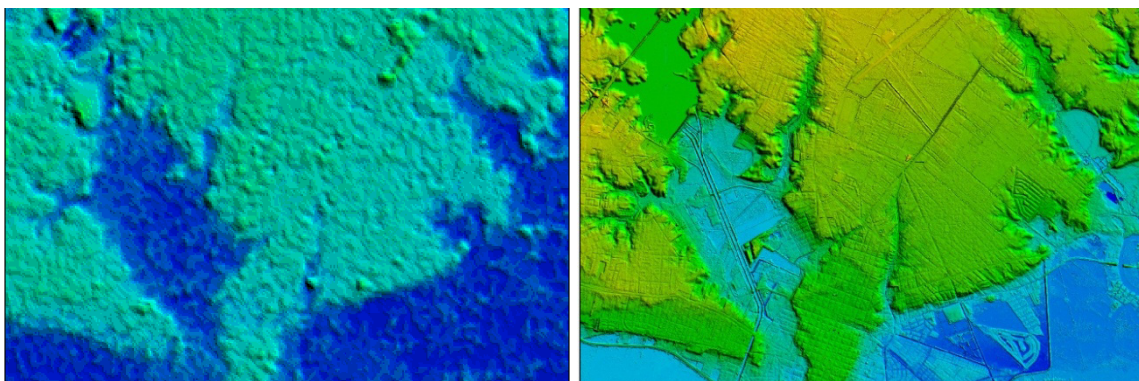


Figura 8.1: A esquerda: extrato do MDE TOPODATA utilizado na etapa geral do mapeamento progressivo; a direita: extrato o MDT Urbano utilizado na etapa de semidetalhe

#### 8.1.1.2 Aumento de Escala do PI Uso do Solo

O aumento de escala do mapa de uso do solo, elaborado nos moldes da etapa geral (classificação supervisionada de imagem de satélite), encontrou barreira na classificação automática das imagens disponíveis com a resolução espacial adequada. Testes efetuados com a imagem do satélite Plêiades indicaram que, a classificação baseada apenas na informação espectral da imagem não alcançam resultados satisfatórios. O elevado número de padrões e texturas presentes nas imagens de alta resolução determinam a utilização de abordagens alternativas, tais como a baseada em objetos ou classificadores suportados por redes neurais. Tais métodos são significativamente complexos e fogem ao escopo deste trabalho.

Sendo assim, a opção que se mostrou adequada foi a vetorização das classes de uso do solo a partir do reconhecimento visual das feições na composição RGB das imagens Plêiades e nas ortofotos. A vetorização, além de ter possibilitado a identificação de zonas de usos mais homogêneas, evitou os erros inerentes às classificações de imagens de satélite, decorrentes de suas limitações espectrais e do processo como um todo.

O mapeamento a partir da vetorização permitiu também a identificação direta de níveis de densidade de algumas classes mapeadas. Desta forma, para as classes de urbanização, matas e silvicultura foram definidos e registrados três níveis de intensidade: baixo, médio e alto. Para a classe de campos, em virtude do grande número de áreas e da heterogeneidade em muitas delas, optou-se pelo NVDI, como forma de mapeamento de suas densidades. A Figura 8.2 mostra o mapa de uso do solo da zona urbana de Pelotas.



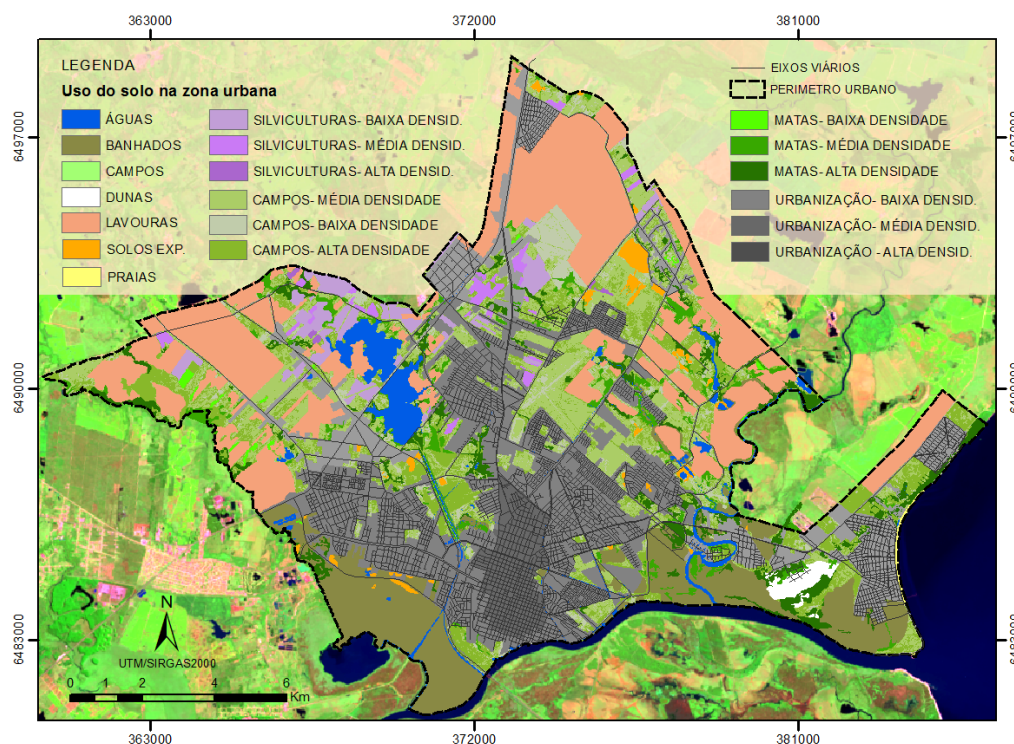


Figura 8.2: Mapa de uso do solo da zona urbana de Pelotas

### 8.1.1.3 Aumento de Escala dos Pis Bacias Hidrográficas, Hipsometria e Declividades

O refinamento dos limites das bacias hidrográficas teve, como ponto de partida, o processamento do MDT Urbano em software SIG, através do qual foram extraídas automaticamente as bacias. Após, o resultado do processo foi sobreposto aos limites anteriormente definidos, os quais foram, em alguns lugares, retificados.

Os planos de informações Isodeclividades e Hipsometrias foram regenerados diretamente do MDT Urbano, o qual foi previamente re-amostrado (degradado) para um pixel de 5 metros (compatível com a escala 1:25.000).

### 8.1.2 Álgebras de Mapas

Após a adequação de escala, os planos de informações foram novamente objetos de álgebra de imagens, utilizando-se, para tal, no caso da suscetibilidade a inundações, os mesmos percentuais de relevância definidos no mapeamento geral. No caso da suscetibilidade à erosão, em função do relevo predominantemente plano da zona urbana, optou-se por não utilizar o plano de informações referente à curvatura do relevo. A ação antrópica, que alterou muitas das curvaturas naturais do terreno em grande parte da área, também motiva a não adoção do plano na construção da suscetibilidade à erosão para a zona urbana. Também não foi utilizado o PI Densidade da Cobertura Vegetal, visto que esta

foi mapeada diretamente no PI Uso do Solo. Sendo assim, no caso da erosão, aplicou-se novamente o processo AHP, para decisão dos pesos relativos de cada um dos planos, e verificada a Razão de Consistência que, neste caso, resultou nula (25% para uso do solo; 50% para pedologia; e 25% para isodeclividades). Os mapas de suscetibilidade inundações e suscetibilidade à erosão da zona urbana de Pelotas, compatíveis com a escala 1:25.000, podem ser vistos no Apêndice B.

## 8.2 ESTIMATIVAS DE UNIDADES GEOTÉCNICAS

Seguindo a metodologia proposta por Dias (1995), os PIs Pedologia e Geologia foram cruzados no SIG, objetivando a elaboração do mapa de estimativas de unidades geotécnicas. As unidades, que representam regiões formadas por perfis de solos com comportamento similar frente ao uso e ocupação, foram classificadas pela pedologia em seus horizontes superficiais (A e B) e pela geologia no horizonte C e rocha alterada. Pela simbologia utilizada (do tipo ABCxyz), as letras maiúsculas correspondem à classificação pedológica do horizonte superficial (A e B) e as minúsculas identificam a geologia, caracterizando os horizontes C, RA e R. Na Figura 8.3, é apresentado o mapeamento das Unidades Geotécnicas Estimadas, e na Tabela 8.1, o rol das mesmas com a descrição das classes pedológicas e geológicas, bem como a área territorial abrangida e seus percentuais.

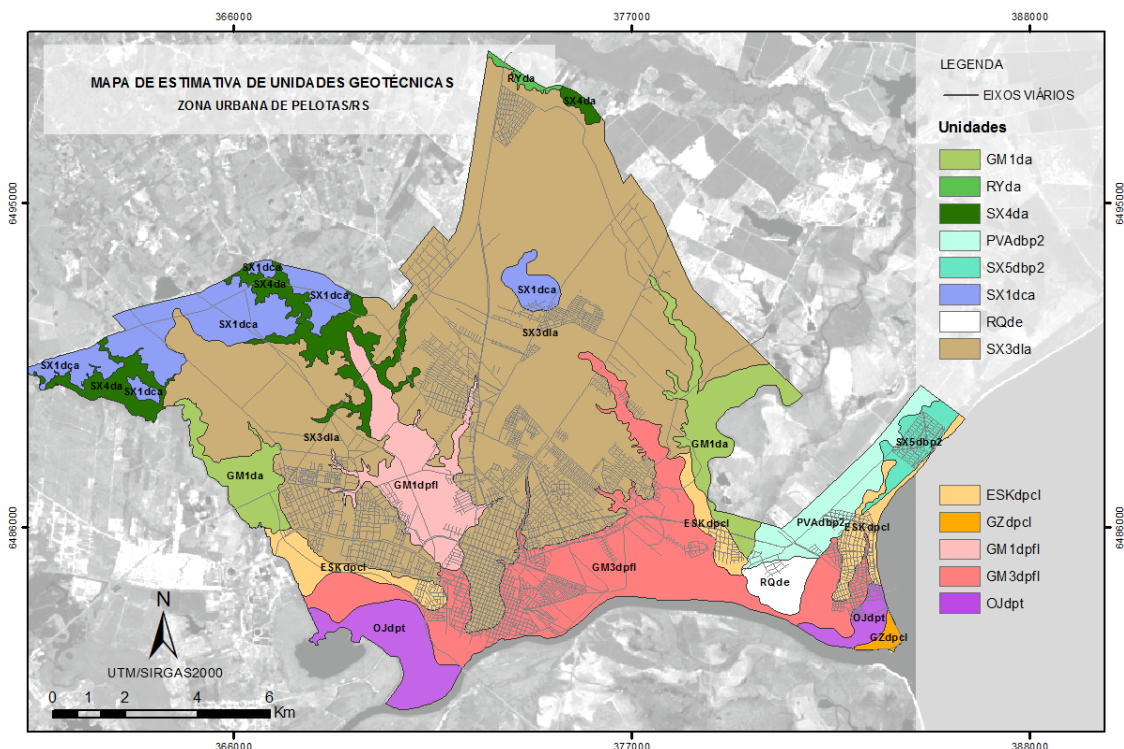


Figura 8.3: Mapa de Estimativa de Unidade Geotécnicas

Tabela 8.1: Classes do Mapa de Estimativas de Unidade Geotécnicas

UNIDADE	PEDOLOGIA		GEOLOGIA	ÁREA (km <sup>2</sup> )	%
	OCORRÊNCIAS DOMINANTES	OCORRÊNCIAS SUBDOMINANTES			
<b>GM1da</b>	GLEISSOLO MELÂNICO	ORGANOSSOLO HÁPLICO NEOSSOLO FLÚVICO	DEPÓSITOS ALUVIAIS	12,31	6,39
<b>RYda</b>	NEOSSOLO FLÚVICO	GLEISSOLO MELÂNICO	DEPÓSITOS ALUVIAIS	1,58	0,82
<b>SX4da</b>	PLANOSSOLO HÁPLICO		DEPÓSITOS ALUVIAIS	8,14	4,23
<b>PVAdpb2</b>	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO	GLEISSOLO MELÂNICO	DEPÓSITOS DE BARREIRAS PLEISTOCÊNICAS 2	5,53	2,87
<b>SX5dpb2</b>	PLANOSSOLO HÁPLICO	NEOSSOLO FLÚVICO GLEISSOLO MELÂNICO	DEPÓSITOS DE BARREIRAS PLEISTOCÊNICAS 2	2,44	1,27
<b>SX3dla</b>	PLANOSSOLO HÁPLICO	PLANOSSOLO NÁTRICO GLEISSOLO HÁPLICO	DEPÓSITOS DE LEQUES ALUVIAIS	101,55	52,71
<b>SX1dca</b>	PLANOSSOLO HÁPLICO	ARGILOSOLO VERMELHO-AMARELO	DEPÓSITOS COLÚVIO-ALUVIAIS	12,28	6,37
<b>Qde</b>	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO		DEPÓSITOS EÓLICOS	1,58	0,82
<b>ESKdpcl</b>	ESPODOSSOLO FERRI-HUMICO HIDROMÓRFICO	GLEISSOLO MELÂNICO	DEPÓSITOS DE PRAIAS E CRISTAS LAGUNARES	9,07	4,71
<b>GZdpcl</b>	GLEISSOLO SÁLICO	GLEISSOLO INDISCRIMINADOS	DEPÓSITOS DE PRAIAS E CRISTAS LAGUNARES	0,55	0,29
<b>GM1dpfl</b>	GLEISSOLO MELÂNICO	ORGANOSSOLO HÁPLICO NEOSSOLO FLÚVICO	DEPÓSITOS DE PLANÍCIE FLÚVIO- LACUSTRE	9,07	4,71
<b>GM3dpfl</b>	COMPLEXO DE: GLEISSOLO MELÂNICO + GLEISSOLO HÁPLICO + ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO + GLEISSOLO SÁLICO	GLEISSOLO TIOMÓRFICO	DEPÓSITOS DE PLANÍCIE FLÚVIO- LACUSTRE	22,96	11,92
<b>OJdpt</b>	COMPLEXO DE: ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO + GLEISSOLO MELÂNICO	GLEISSOLO TIOMÓRFICO	DEPÓSITOS PALUDAI E TURFEIROS	6,96	3,61

## 8.2.1 Caracterização das Unidades Geotécnicas

Para caracterização das unidades geotécnicas, realizou-se a análise das sondagens SPT disponíveis e inferência das propriedades e características comuns aos tipos de solos e subsolos de cada unidade. As unidades onde não havia sondagem disponível, tiveram as propriedades correlacionadas às demais, através dos componentes tipológicos de seus terrenos (pedologia e geologia).

Unidade Geotécnica **SX3dla**: Essa unidade compreende 52,71% da zona urbana e é formada por Planossolos Háplicos, com ocorrências subdominantes de Planossolos Nátricos e Gleissolos Háplicos, sobre substrato de Depósitos de Leques Aluviais. No perfil típico da unidade, predominam estratos argilosos a argilo-arenosos, de consistência geralmente rija, até os 6 metros de profundidade; dos seis aos oito metros, há um aumento dos estratos arenosos compactos que se equilibram com argilosos e argilo-arenosos rijo a duros; a partir dos 8 metros, há dominância dos estratos arenosos compactos com ocorrências menores de estratos argilo-arenosos rijo a duros. Em maior profundidade, predominam estratos de areia média a grossa, compacta a muito compacta, sendo comum a presença de pedregulhos (Figura 8.4).

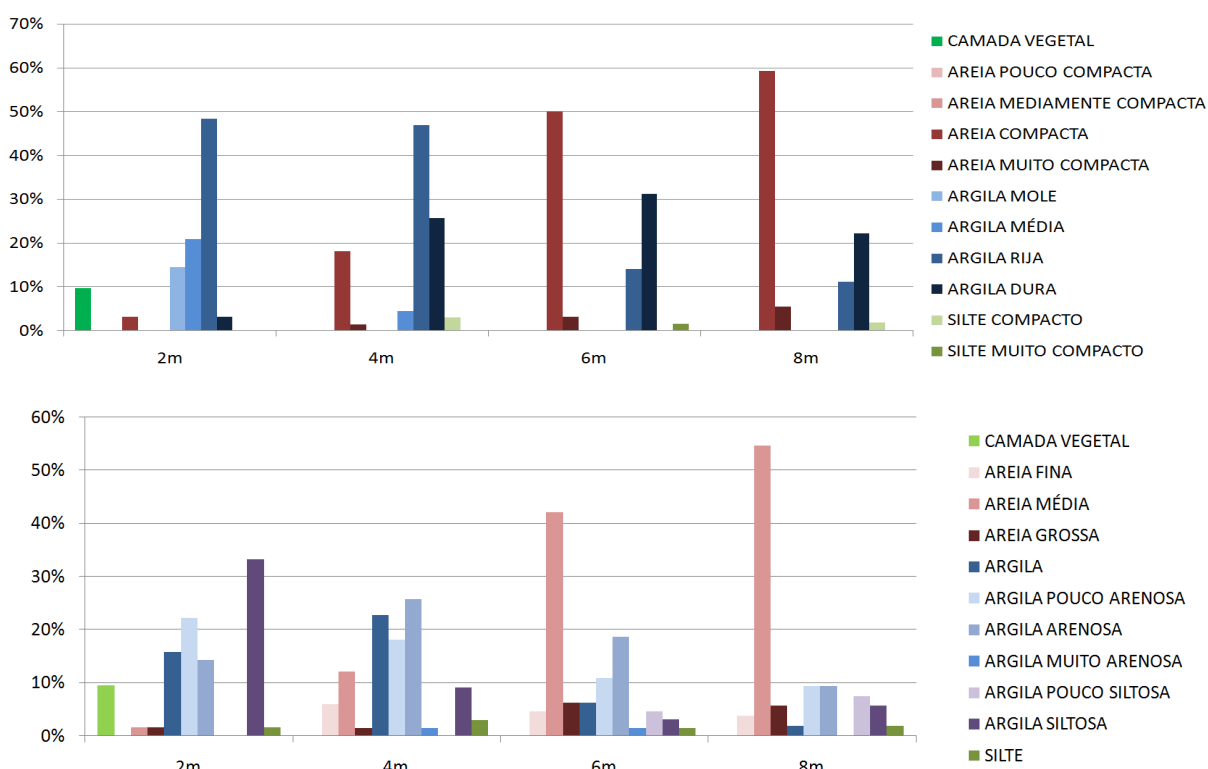


Figura 8.4: Unidade SX3dla. Acima: gráfico indicando os percentuais com que ocorrem diferentes compacidades/consistências nas profundidades de 2, 4, 6 e 8 metros, em 66 sondagens. Abaixo: gráfico indicando os percentuais com que ocorrem diferentes texturas nas mesmas profundidades e mesmas sondagens.

O subsolo da unidade, constituído por alternância de estratos de argila rija a dura e de areia média a grossa, compacta a muito compacta, com resistência crescente com a profundidade (Tabela 8.2 e Figura 8.5), confere boa capacidade de suporte para fundações superficiais (sapatas corridas de concreto ou alvenaria de pedras) a obras de 1 a 2 pavimentos. Obras de maior porte demandam estacas (pré-moldadas cravadas, escavadas tipo Strauss ou ainda estacas-broca e de hélice contínua) de comprimento variável, mas geralmente até 8 m para edificações de até 6 pavimentos e 12 m para as mais altas.

Embora em cotas relativamente altas e livre, na quase totalidade da área, das inundações, a presença dos estratos argilosos restringe a capacidade de drenagem subsuperficial dos terrenos da unidade. Tal característica deve ser levada em conta em projetos de drenagem pluvial e de esgotamento sanitário. A capacidade de infiltração de efluentes de esgotos domésticos, a partir de sistemas por fossa e sumidouro, pode ser comprometida nesses terrenos (XAVIER, 2010). Outro aspecto a considerar, a partir da origem geológica dos solos da unidade, é a dispersividade do solo argiloso, isto é, a facilidade deste em dispersar em água e propiciar processos erosivos superficiais e subsuperficiais. Logo, deve ser evitada a exposição dos terrenos subsuperficiais, sem a devida cobertura por solos do horizonte A e vegetação (XAVIER, 2010).

Tabela 8.2: Valores de Nspt médios para Unidade SX3dla

Profund. (metros)	Nspt Médio	Desvio Padrão	Nº de Laudos
1	7,8	3,64	69
2	11,5	4,67	69
3	16,8	5,60	69
4	21,6	8,12	69
5	23,3	7,78	68
6	24,8	7,99	64
7	25,9	7,57	60
8	27,8	8,44	56
9	24,4	5,05	18
10	27,6	6,16	8
11	26,2	2,92	5
12	29,2	5,49	5
13	29,0	0,00	2
14	23,5	3,50	2
15	26,5	7,50	2
16	28,0	3,00	2
17	22,5	0,50	2
18	28,0	4,00	2
19	33,5	3,50	2
20	29,0	1,00	2

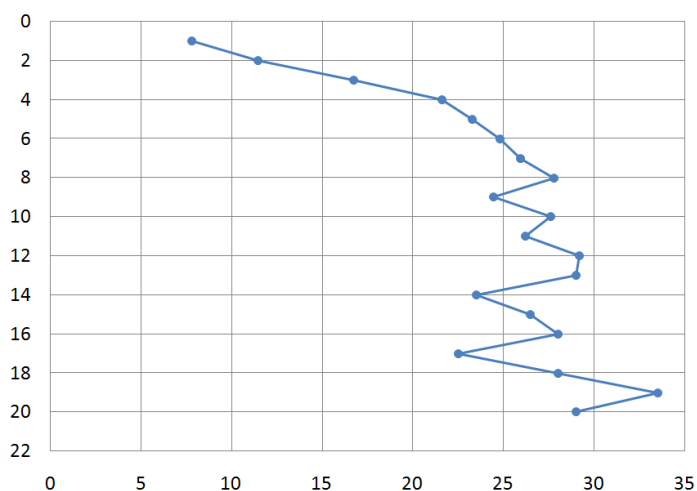


Figura 8.5: Gráfico dos valores médios de Nspt da Unidade SX3dla. Eixo vertical: profundidade em metros; Eixo horizontal: valores de Nspt

Unidade Geotécnica **SX5d**pb**2**: É formada por Planossolos Háplicos, com ocorrências subdominantes de Neossolo Flúvico e Gleissolo Melânico, sobre substrato de Depósitos de Barreiras Pleistocênicas 2. No perfil típico da unidade, predominam estratos de argila e argila pouco arenosa a arenosa, de consistência média a rija, até os 3 metros de profundidade; após os três metros, há predominância de estratos de areia fina a média, compacta a muito compacta, que podem aparecer intercalados a estratos de argila arenosa rija a dura. Em maior profundidade, é normal a presença de pedregulhos.

As três sondagens disponíveis para unidade (duas delas do mesmo terreno) apresentam perfis muito semelhantes para os oito primeiros metros, conforme Tabela 8.3. Mesmo com a escassez de dados, em virtude da pequena área e da unicidade da forma de relevo, pode-se pressupor que as características dos solos (Nspt e texturas dos materiais) e as propriedades geotécnicas inferidas tendam à uniformidade.

Tabela 8.3: Materiais, texturas e estados de compactação e consistência das sondagens da unidade SX5d**pb**2

Sondagens	2 metros	4 metros	6 metros	8 metros
LA24	Argila arenosa rija	Areia média compacta	Areia média compacta	Argila arenosa dura
LA25	Argila rija	Areia fina compacta	Areia fina compacta	Areia fina compacta
LA26	Argila rija	Areia fina compacta	Areia fina compacta	Areia fina muito compacta

As propriedades geotécnicas dos terrenos da unidade SX5d**pb**2 assemelham-se àquelas da unidade SX3dla, valendo as mesmas observações no que se refere às fundações, à drenagem e à erosão laminar. Os valores médios de Nspt das sondagens indicam, em

relação à unidade anterior, um crescimento mais uniforme da resistência com o aumento da profundidade (Figura 8.6).

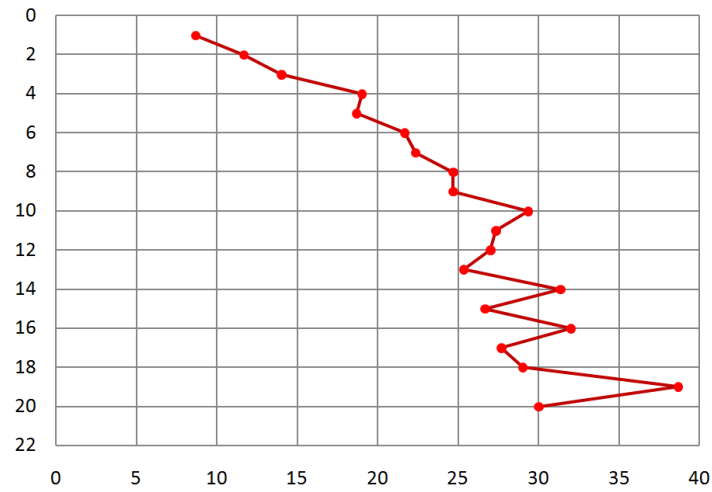


Figura 8.6: Gráfico do Nspt médio das três sondagens da unidade SX5dpb2. Desvios padrões dos valores variando de 4 a 35%. Eixo vertical: Eixo vertical: profundidade em metros; Eixo horizontal: valores de Nspt

Unidade Geotécnica **PVAdpb2**: É formada por Argissolo Vermelho-amarelo, com ocorrências subdominantes de Gleissolo Melânico, sobre substrato de Depósitos de Barreiras Pleistocênicas 2. O perfil típico da unidade compõe-se de argila pouco arenosa a arenosa média, com ocorrências de areia argilosa pouco compacta a compacta, até a profundidade de 3 metros; após os três metros, há predominância de areia fina mediamente compacta a compacta, com ocorrências menores de argila pouco arenosa a arenosa de consistência rija a dura (Figura 8.7 e Figura 8.8)

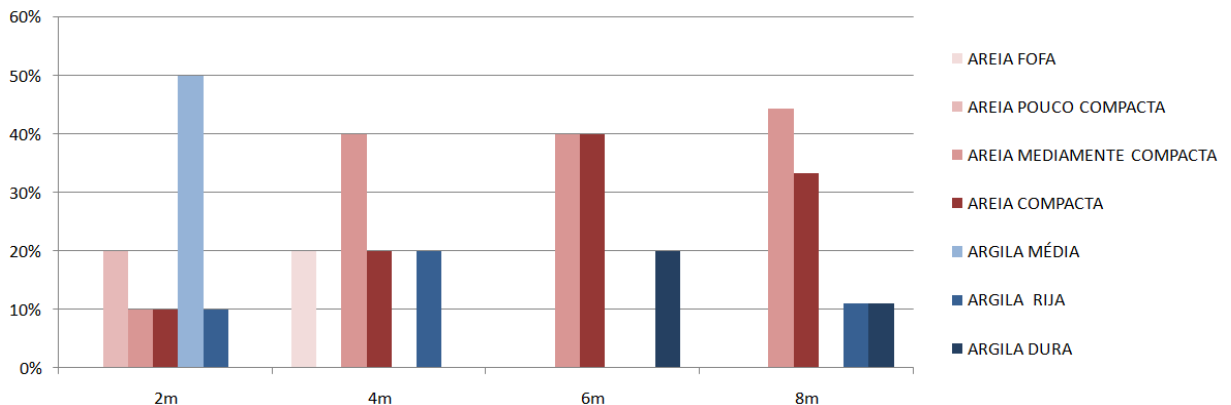


Figura 8.7: Unidade PVAdpb2 - Gráfico indicando os percentuais com que ocorrem diferentes compacidade e consistências nas profundidades de 2, 4, 6 e 8 metros, em 10 sondagens da unidade

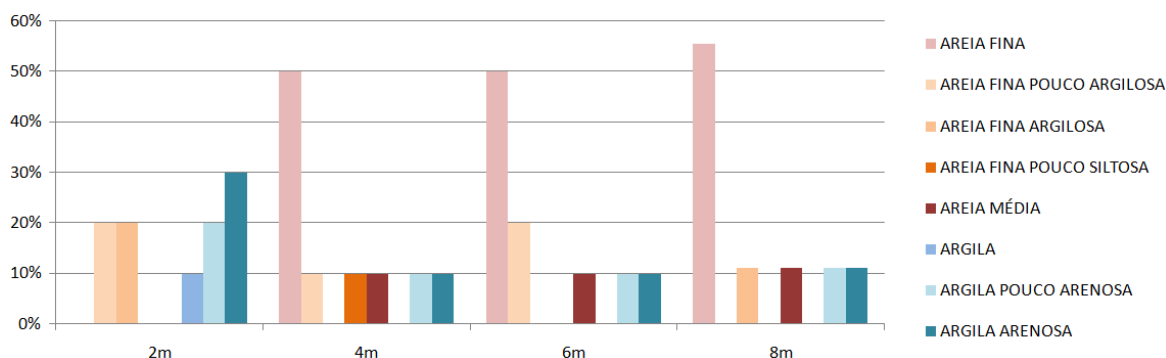


Figura 8.8: Unidade PVAdpb2 - Gráfico indicando os percentuais com que ocorrem diferentes texturas nas nas profundidades de 2, 4, 6 e 8 metros, em 10 sondagens da unidade.

Os terrenos da unidade são formados por perfis evoluídos, bem drenados e não inundados. A capacidade, crescente com a profundidade, viabiliza fundações superficiais para edificações até 2 pavimentos e estacas de pequena a média profundidade para obras maiores. Seus solos, menos coesivos, são sujeitos a erosão superficial, sendo este um dos aspectos que deve ser considerado nos projetos de drenagem pluvial. Também deve ser prevista a rápida recomposição vegetal dos terrenos decapeados por terraplanagem (XAVIER, 2010). Os valores médios de  $N_{spt}$  das sondagens apontam para um crescimento uniforme da resistência com o aumento da profundidade, mas nas proximidade da unidade GM1da, podem ocorrer reduções na resistência do solo entre 4 e 6 metros de profundidade (Figura 8.9).

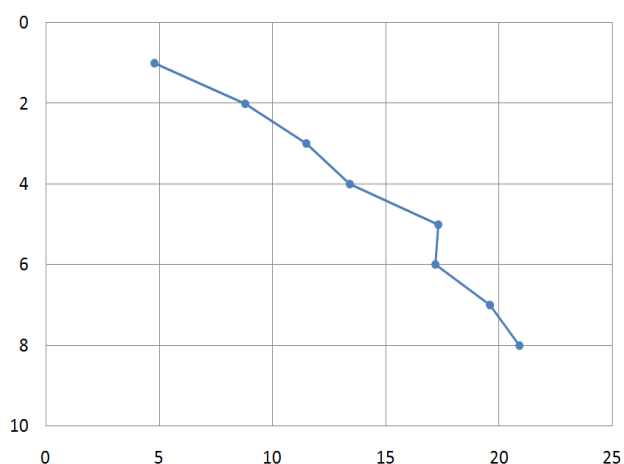


Figura 8.9: Gráfico do  $N_{spt}$  médio das três sondagens da unidade PVAdpb2. Desvios padrões dos valores variando de 23 a 57%. Eixo vertical: profundidade em metros; Eixo horizontal: valores de  $N_{spt}$

Unidade Geotécnica **GM1dpfi**: Essa unidade compõe-se de Gleissolo Melânico, com ocorrências subdominantes de Organossolo Háplico e Neossolo Flúvico, sobre substrato de Depósitos de Planície Flúvio-Lacustre.



No perfil típico da unidade, destaca-se a presença de argila orgânica de consistência muito mole a mole, da superfície até significativas profundidades, podendo chegar, em alguns casos, até 15 metros com valores de  $N_{spt}$  abaixo de 5 golpes. No geral, a partir dos 6 metros há um decréscimo dos estratos argilosos muito moles a moles e um aumento dos estratos de areia mediamente compacta a compacta e de argila média a rija (Figura 8.10). Em maior profundidade, sucedem-se camadas de argila arenosa rija a dura e de areia argilosa compacta a muito compacta. Devido à baixa cota altimétrica da unidade, é comum alguns terrenos já apresentarem aterros em superfície, os quais variam de solos de empréstimos, resíduos de construção civil ou mesmo lixo (XAVIER, 2010).

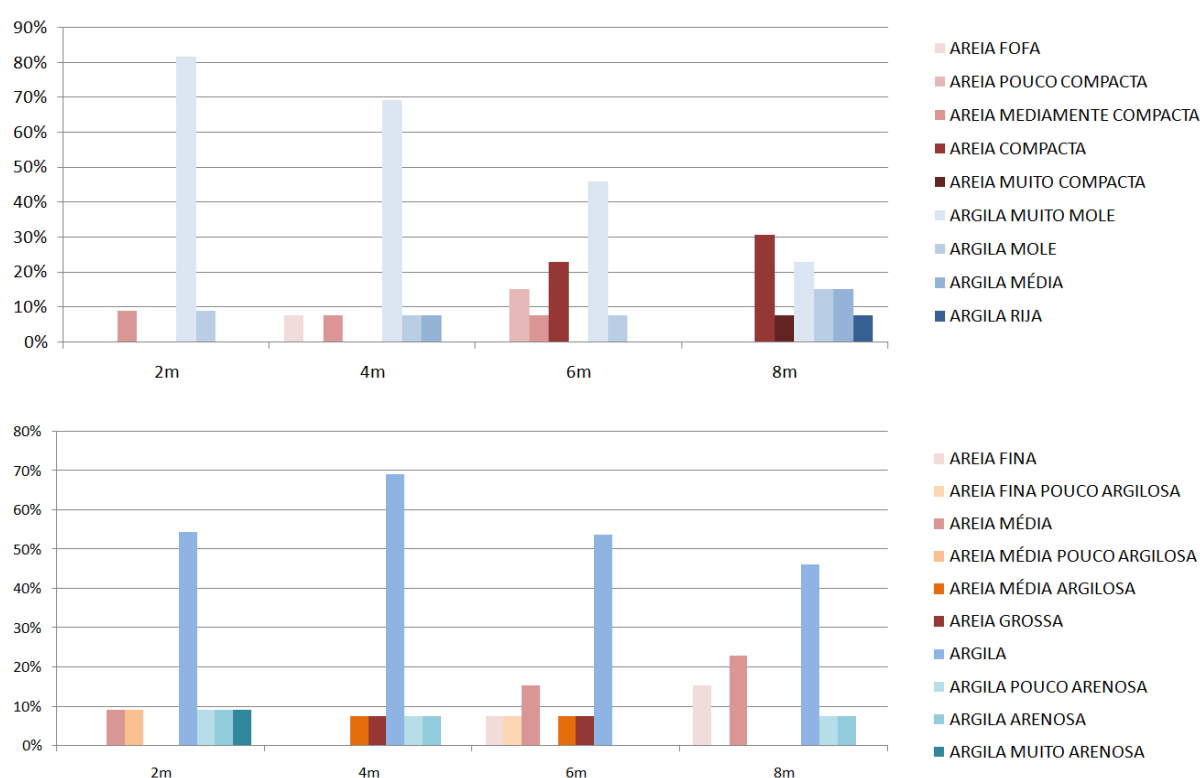


Figura 8.10: Unidade GM1dpfl - Acima: gráfico indicando os percentuais com que ocorrem diferentes compacidades e consistências nas profundidades de 2, 4, 6 e 8 metros, em 13 sondagens da unidade. Abaixo: gráfico indicando os percentuais com que ocorrem diferentes texturas nas mesmas profundidades e sondagens

A presença de argila orgânica mole a muito mole, desde a superfície até grandes profundidades, obriga o uso de estacas como solução de fundações para a maioria dos casos. Estacas pré-moldadas de concreto de até 20 metros têm-se mostrado a solução mais usada. Fundações superficiais ficam restritas a pequenas edificações de pavimento único (XAVIER, 2010). Além do mais, destaca-se que aterros são necessários para elevação das cotas dos lotes e das vias. No entanto, o suporte e as deformações dos terrenos devido à carga desses aterros, assim como das edificações e das cargas de serviço, devem ser

considerados nos projetos geotécnicos, de forma a evitar recalques, já observáveis em edificações na unidade. Também deve ser dada devida atenção ao nível de água que, em alguns, locais pode-se encontrar muito próximo a superfície. Os valores de Nspt, que tendem a serem baixos nos 6 metros iniciais, variam significativamente a partir dessa profundidade conforme o local, podendo haver valores abaixo de 6 golpes até profundidades próximas a 13 metros (Tabela 8.4 e Figura 8.11: Gráfico do Nspt médio das sondagens da unidade GM1dpfl).

Tabela 8.4: Valores de Nspt médios para Unidade GM1dpfl

Profund. (metros)	Nspt Médio	Desvio Padrão	Nº de Laudos
1	1,8	1,52	13
2	1,0	0,96	13
3	1,0	1,88	13
4	3,0	3,57	13
5	3,9	3,68	13
6	6,5	6,94	13
7	9,8	9,91	13
8	10,9	10,21	13
9	4,0	3,58	7
10	6,0	5,18	7
11	8,0	7,50	7
12	14,4	8,64	7
13	18,0	8,54	5
14	23,3	0,82	4

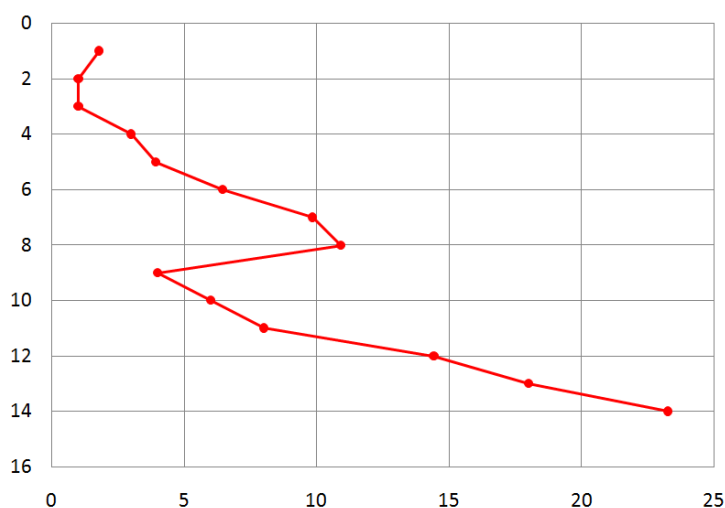


Figura 8.11: Gráfico do Nspt médio das sondagens da unidade GM1dpfl. Eixo vertical: profundidade em metros; Eixo horizontal: valores de Nspt

Unidade Geotécnica **GM3dpfl**: É formada por um complexo de Gleissolo Melânico, Gleissolo Háplico, Organossolo Tiomórfico e Gleissolo Sálico, com subocorrências de Gleissolo Tiomórfico, sobre substrato de Depósito de Planície Flúvio-Lacustre.

Devido aos processos deposicionais que deram origem ao substrato da unidade (processos fluviais e lacustres), este apresenta considerável heterogeneidade na sequência estratigráfica do seu perfil, não existindo, portanto, um único perfil típico no que se refere à textura e à resistência dos materiais constituintes. A análise das 41 sondagens selecionadas indica a existência de, pelo menos, dois perfis característicos: um referente aos terrenos mais próximos dos cursos d'água (Canal São Gonçalo e Arroio Pelotas) e outro concernente aos terrenos mais próximos das áreas mais altas (depósitos de leques aluviais), os quais passam a ser denominados, respectivamente, de perfil típico 1 e perfil típico 2. O nível d'água encontra-se próximo à superfície em quase toda a unidade.

O perfil típico 1 é formado por argila orgânica muito mole a mole, desde a superfície até grandes profundidades (podendo atingir, em alguns casos, até 26 metros); até a profundidade de 8 metros, em alguns locais, é comum ocorrerem estratos de areia fina a grossa, fofa a compacta (Figura 8.12).

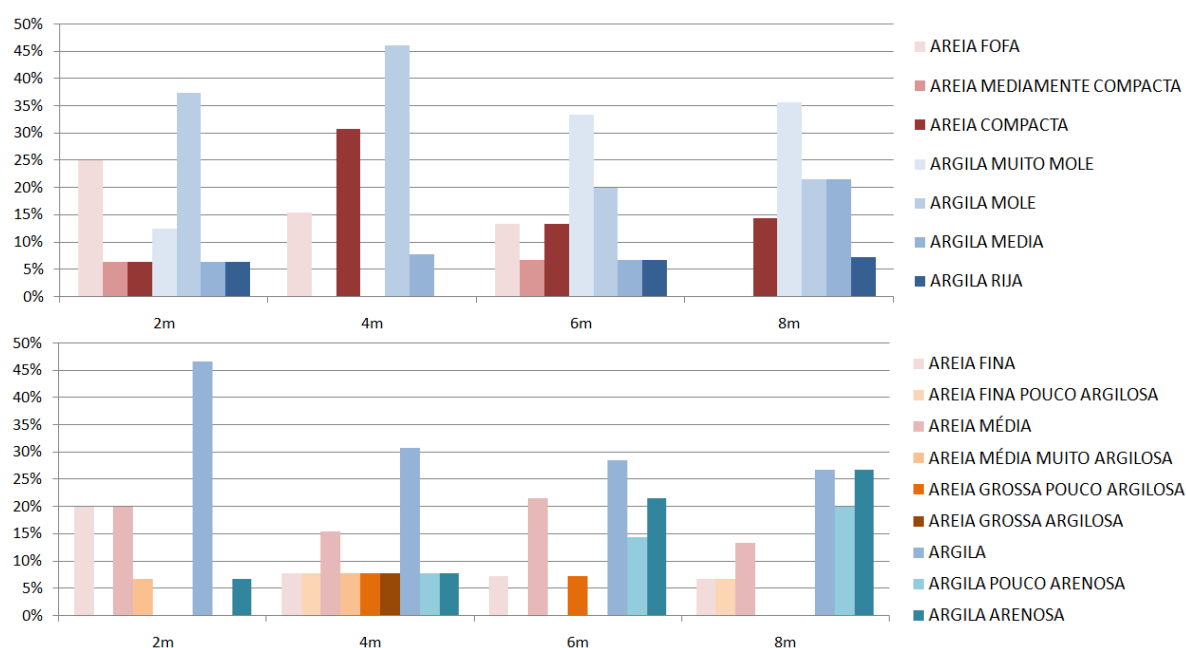


Figura 8.12: Unidade GM3dpfl (sondagens próximas ao Arroio Pelotas e ao Canal São Gonçalo) - Acima: gráfico indicando os percentuais com que ocorrem diferentes compacidades e consistências nas profundidades de 2, 4, 6 e 8 metros, em 13 sondagens da unidade. Abaixo: gráfico indicando os percentuais com que ocorrem diferentes texturas nas mesmas profundidades e sondagens

O Nspt das 17 sondagens relacionadas ao perfil típico 1 indica uma considerável variação na resistência nos 14 metros iniciais, mas, na média, mostra-se muito baixa a baixa (Tabela 8.5 e Figura 8.13). Quatro dessa sondagens apontam para um aumento de resistência somente a partir dos 19, 25 e 27 e 28 metros. Nas demais, ou não ocorre aumento até o limite da sondagem que, em geral, fica nos 16 metros, ou ocorre de 6 a 12 metros (em seis

sondagens). A presença de argila orgânica mole a muito mole desde a superfície até grandes profundidades, impõe o uso de estacas como solução de fundações, na maioria dos casos. Estacas pré-moldadas de concreto de até 20 metros têm se mostrado a solução mais usada. Também observa-se o uso de radier em edificações de menor carga.

Tabela 8.5: Valores de Nspt médios para o perfil típico 1 da Unidade GM3dpfl

Profund. (metros)	Nspt Médio	Desvio Padrão	Nº de Laudos
1	4,3	3,00	17
2	2,9	3,31	17
3	2,2	2,26	17
4	4,4	6,33	17
5	5,3	9,55	17
6	2,9	4,70	17
7	3,9	3,98	17
8	6,5	12,09	17
9	5,8	6,72	16
10	6,7	7,38	16
11	9,1	12,27	14
12	8,4	13,28	14
13	9,5	16,13	13
14	2,9	4,00	10
15	2,5	2,24	10
16	3,4	3,10	9
17	0,8	0,98	5

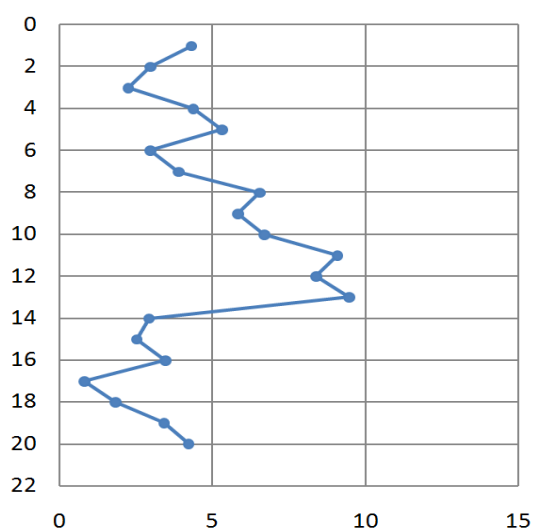


Figura 8.13: Gráfico do Nspt médio das sondagens da unidade GM3dpfl representativas do perfil típico 2. Eixo vertical: profundidade em metros; Eixo horizontal: valores de Nspt

O perfil típico 2 apresenta estratos argilosos de consistência mole a rija e estratos arenosos pouco compactos a compactos, até a profundidade de 4 metros, passando, a partir desta profundidade, a camadas de argila média a dura e areia compacta (Figura 8.14).

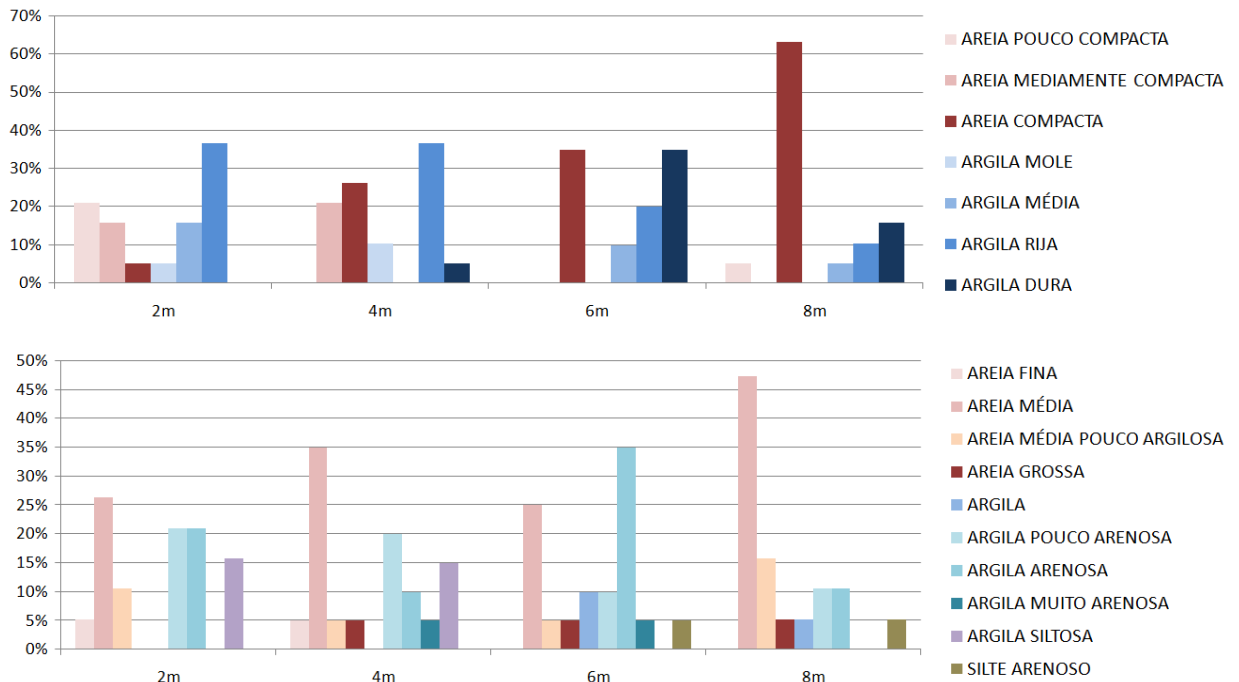


Figura 8.14: Unidade GM3dpfl (sondagens mais afastadas do Arroio Pelotas e ao Canal São Gonçalo e mais próximas dos Depósitos de Leques Aluviais) - Acima: gráfico indicando os percentuais com que ocorrem diferentes compacidades e consistências nas profundidades de 2, 4, 6 e 8 metros, em 13 sondagens da unidade. Abaixo: gráfico indicando os percentuais com que ocorrem diferentes texturas nas mesmas profundidades e sondagens

O Nspt médio das sondagens relacionadas ao perfil típico 1 da unidade, apresenta um crescimento uniforme até os 8 metros de profundidade, com valores próximos dos 25 golpes a esta profundidade (Figura 8.15), viabilizando, desta forma, fundações superficiais para edificações até 2 pavimentos e estacas de pequena a média profundidade para edificações de maior altura.

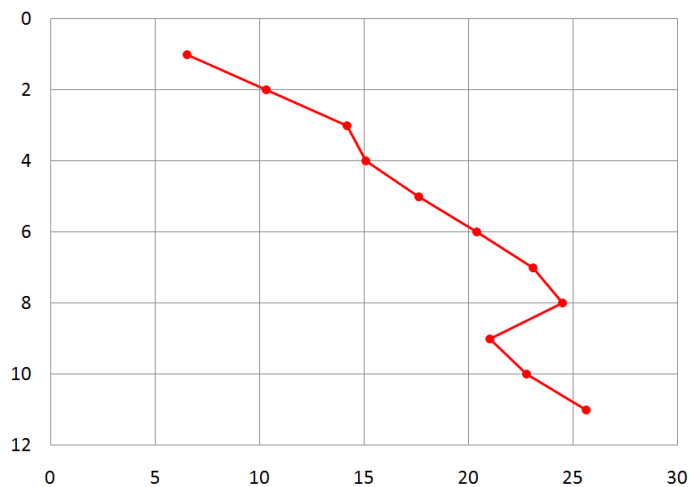


Figura 8.15: Gráfico do Nspt médio das sondagens da unidade GM3dpfl representativas do perfil típico 2. Desvio padrão dos valores variando de 16 a 50%. Eixo vertical: profundidade em metros; Eixo horizontal: valores de Nspt

Unidade Geotécnica **ESKdpcl**: Essa unidade é formada por Espodossolo Ferri-húmico Hidromórfico, com ocorrências subdominantes de Gleissolo Melânico, sobre substrato de Depósitos de Praias e Cristas Lagunares. Os perfis de solo apresentam uma considerável variação, sendo comum a ocorrência de camadas de argila mole a média, entre camadas de areia fofa a compacta. De uma maneira geral, o perfil da unidade apresenta estratos de areia fofa a mediamente compacta e argila mole a média, entre camadas de areia fofa a compacta. De uma maneira geral, o perfil da unidade apresenta estratos de areia fofa a mediamente compacta e argila mole a média, até a profundidade de 3 metros; dos 4 a seis metros, há presença de argila mole a dura; a partir dos 6 metros, há um aumento nos estratos de areia compacta e uma menor presença de argila que, em geral, é média ou dura, podendo ocorrer, em alguns locais, estratos de argila orgânica mole (Figura 8.16). O nível d'água encontra-se muito próximo à superfície, em praticamente toda a unidade.

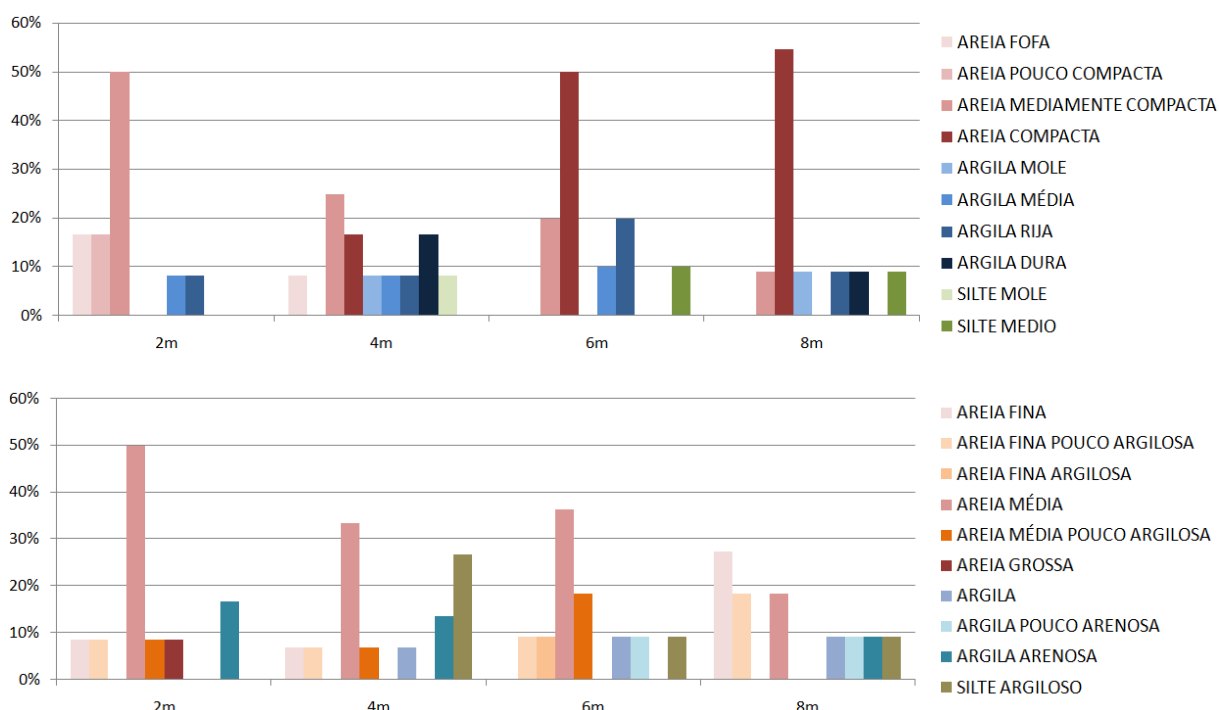


Figura 8.16: Unidade ESKdpcl - Acima: gráfico indicando os percentuais com que ocorrem diferentes compacidades e consistências nas profundidades de 2, 4, 6 e 8 metros, em 13 sondagens. Abaixo: gráfico indicando os percentuais com que ocorrem diferentes texturas nas mesmas profundidades e sondagens

Muito embora os valores médios de  $N_{spt}$  mostrem uma resistência crescente com valores acima dos 15 golpes para profundidades iguais ou maiores que 4 metros (Figura 8.17), a alternância de camadas argilosas e arenosas, com a redução da resistência em determinadas áreas, a profundidades variáveis, indica a necessidade de investigações geotécnicas para definição do tipo e profundidade próprios das fundações, até mesmo para edificações de menor porte.

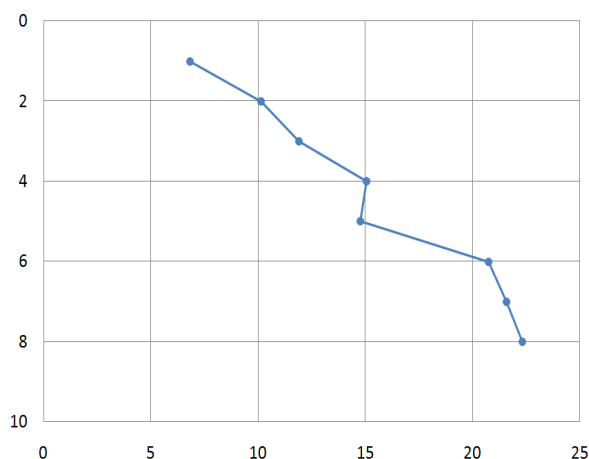


Figura 8.17: Gráfico do Nspt médio das 13 sondagens da unidade ESKdpcl. Desvio padrão:43 a 62%. Eixo vertical: profundidade em metros; Eixo horizontal: valores de Nspt

Unidade Geotécnica **GM1da**: É formada por Gleissolo Melânico, com subocorrências de Organossolo Háplico e Neossolo Flúvico, sobre substrato de Depósitos Aluviais. A única sondagem disponível para a unidade apresenta argila orgânica muito mole a mole até a profundidade de 3 metros, com Nstp de 0 a 4 golpes, sucedida por camadas de areia de granulometria variada com compacidade crescente com a profundidade, conforme Tabela 8.6, e Nspt > 13 metros (Figura 8.18).

Tabela 8.6: Materiais, texturas e estados de compacidade e consistência das sondagens da unidade GM1da

Sondagens	2 metros	4 metros	6 metros	8 metros
FR37	Argila orgânica muito mole	Areia grossa Mediamente compacta	Areia média compacta	Areia média Mediamente compacta

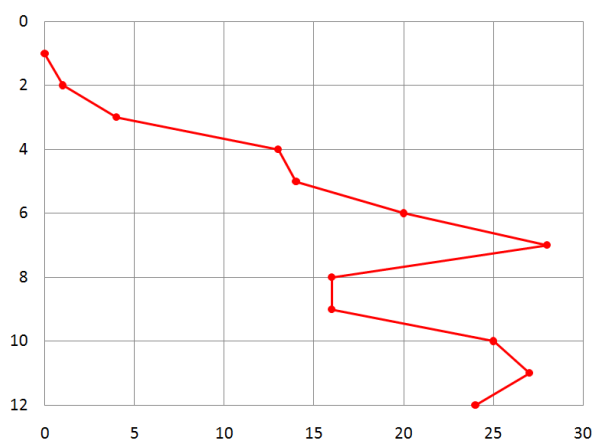


Figura 8.18: Gráfico do Nspt médio da única sondagens da unidade GM1da. Eixo vertical: profundidade em metros; Eixo horizontal: valores de Nspt

A presença de argilas moles a muito mole em superfície é a característica determinante da unidade, indicando baixa capacidade de suporte, elevada deformabilidade e má drenagem na porção mais superficial do subsolo. Obras de médio e grande porte exigem fundações por estacas, na busca das camadas arenosas mais resistentes (XAVIER, 2010). O nível d'água encontra-se próximo à superfície. Apesar da sondagem da unidade indicar o aumento da capacidade de suporte a partir dos 3 metros de profundidade, a origem aluvial dos sedimentos, decorrentes da deposição recente pelos cursos de água, indica variabilidade na estratigrafia. Logo, investigações geotécnicas locais são fortemente indicadas, visto a possibilidade de haver estratos moles em profundidade.

A Unidade **RYda**, formada por Neossolo Flúvico com subcorrência de Neossolo Melânico sobre Depósitos Aluviais, possui terrenos inundáveis, com contínua acumulação pelos cursos d'água adjacentes, e nível d'água próximo à superfície. Seus perfis de solos mostram alternância de estratos arenosos e argilosos de consistência variável, com possível ocorrência de camadas de argila mole.

A Unidade **SX1dca** é formada por Planossolo Háplico, com subcorrências de Argilossolo Vermelho-amarelo, sobre Depósitos Colúvio-Aluviais. Trata-se de terrenos mal a imperfeitamente drenados, cujo subsolo mostra alternância de estratos argilosos de consistência rija a dura e arenosos grosseiros, mediamente compactos a muito compactos. Apresentam, assim, boa capacidade de suporte à fundações superficiais para obras de até dois pavimentos. Assim como nas demais unidades formadas por Planossolos Háplicos, a dispersividade do solo argiloso pode facilitar processos erosivos superficiais e subsuperficiais.

A Unidade **GZdpcl** é formada por Gleissolo Sáfico, como ocorrência subdominante de Gleissolos indiscriminados, sobre Depósitos de Praia e Cristas Lagunares. Trata-se de terrenos mal drenados a muito mal drenados cujo nível d'água está próximo à superfície. Seus perfis de solos apresentam alternância de estratos arenosos e argilosos de compactidade/consistência variáveis, com possível ocorrência de argila mole e orgânica no horizonte superficial. A pedogênese do perfil indica salinidade elevada dos horizontes superficiais, o que pode resultar em maior potencial de oxidação de elementos construtivos metálicos em contato com o solo.

A Unidade **SX4da**, formada por Planossolo Háplico sobre substrato de Depósitos Aluviais, apresenta terrenos imperfeitamente drenados, com horizonte subsuperficial de concentração de argila que restringe a drenagem superficial. Com nível d'água próximo à superfície, seus perfis de solos mostram alternância de estratos arenosos e argilosos de



compacidade/consistência variáveis, com possível ocorrência de camadas de argila mole, em profundidade.

A Unidade **RQde** é formada por Neossolos Quartzarênicos Órticos sobre substrato de Depósitos Eólicos. Trata-se de terrenos excessivamente drenados, de textura essencialmente arenosa (areias quartzosas finas), cuja camada superficial apresenta-se solta em parte da área e fracamente estruturada na demais, sendo, portanto, extremamente suscetível à erosão hídrica e eólica. Em profundidade, há um acréscimo da fração argila dos estratos arenosos e o aparecimento de estratos argilosos, podendo ocorrer camadas de argila mole. A natureza dos solos não recomenda a ocupação dos terrenos por edificação.

A Unidade **OJdpt** é formada por um complexo de Organossolo Tiomórfico e Gleissolo Melânico, com subocorrência de Gleissolo Tiomórfico, sobre substrato de Depósitos Paludais e Turfeiros. Trata-se de solos muito mal drenados cujo nível d'água está próximo à superfície. Os perfis de solo da unidade apresentam, em geral, uma grande variação, sendo comum a ocorrência de camadas de argila orgânica muito mole a média entre camadas de areia fofa a compacta, podendo ocorrer, em alguns locais, estratos de argila orgânica mole, em profundidade.

### 8.3 NOVOS PLANOS DE INFORMAÇÕES

Seguindo a metodologia proposta e objetivando a produção do mapa preliminar e da carta de aptidão à urbanização, foram produzidos e incorporados ao Banco de Dados Geográficos novos planos de informações relativos às áreas de preservação ambiental e aos processos tecnológicos que afetam o grau de ocorrência dos fenômenos geodinâmicos.

#### 8.3.1 Áreas de Preservação Ambiental

O mapeamento das áreas possuidoras de atributos ambientais que ensejam proteção e preservação foi realizado com base na legislação urbanística e ambiental vigente (plano diretor e normas federais) e futura (projeto de lei de alteração do 3º Plano Diretor de Pelotas). Considerou-se, desta forma, que no processo do qual se originou a legislação, o planejador municipal identificou previamente as porções do território com atributos ambientais de necessária preservação. A incorporação da legislação futura objetiva evitar uma desatualização do mapeamento, já na sua origem. O projeto de lei, no que se refere às áreas de preservação ambiental, pouco inova, centrando-se, isto sim, na correção de distorções e incorreções identificadas na lei do plano. O projeto já passou pelas discussões

técnicas e institucionais necessárias, tendo sido aprovado nos conselhos municipais de proteção ambiental e do plano diretor. Está em vias de ser encaminhado à apreciação e à aprovação legislativa.

Sob a justificativa de que as Áreas de Preservação Permanente (APPs) já estão definidas na lei federal, esse documento retira-as do mapeamento (o qual já é incompleto na lei do plano). O fato é que a legislação federal estabelece os conceitos e parâmetros para a definição das APPS, mas não seu mapeamento, o qual, diante disso, deveria fazer parte da lei municipal. Desta forma, o mapeamento do município foi complementado com base na legislação federal correlata (Código Florestal e resoluções CONAMA nº 302 e 303), a partir da ortofoto de 2015 e dos vetores dos cursos d'água extraídos do MDT urbano. Além das APPs da Laguna dos Patos, Arroio Pelotas, Canal São Gonçalo e Barragem do Santa Bárbara, foram mapeadas as APPs dos cursos d'água naturais, perenes e intermitentes, não retificados. Além dessas, foram mapeadas as áreas correspondentes à vegetação de restinga fixadora das dunas eólicas situadas às margens do Canal São Gonçalo. A Figura 8.19 apresenta o mapa das áreas de proteção ambiental, as quais foram divididas em APP, APP ocupadas e Áreas Especiais de Interesse do Ambiente Natural (AEIAN).

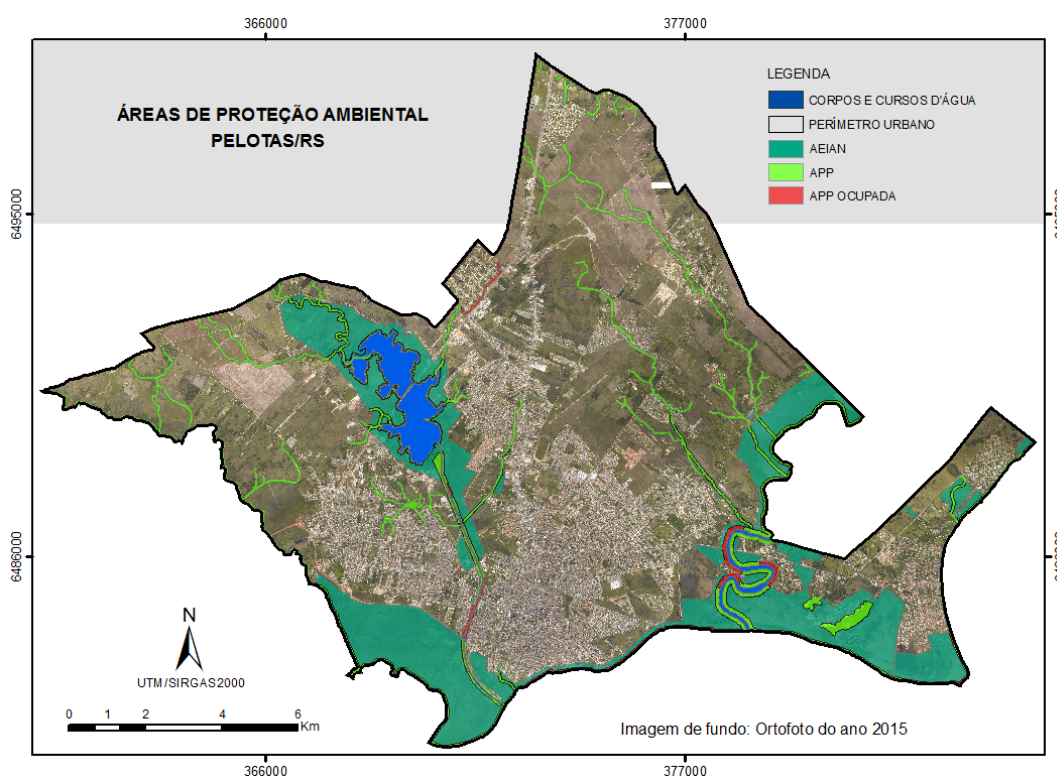


Figura 8.19: Mapa das áreas de proteção ambiental, conforme o projeto de lei de alteração do 3º Plano Diretor de Pelotas, complementadas pelo autor

### 8.3.2 Drenagem Urbana: Áreas Protegidas Contra Inundações

A drenagem pluvial urbana de Pelotas, como já visto, é realizada por gravidade nas áreas altas e estações de recalque nas baixas. A rede primária de microdrenagem é realizada basicamente por escoamento superficial, através do sistema viário: por meio de sarjetas, nas vias pavimentadas e com meio fio; e por meio valas, nas vias não pavimentadas e nas pavimentadas sem meio fio (boa parte delas tubuladas pelos moradores). A partir da rede primária, as águas da chuva são encaminhadas para canais e galerias abertas, os quais conduzem aos drenos principais de macrodrenagem.

Embora a inexistência de cadastro e mapa da rede de drenagem por parte da Prefeitura obste a análise quantitativa e qualitativa do sistema com um todo, a avaliação da influência da drenagem na aptidão dos terrenos ao uso urbano demanda uma visão espacial do mesmo. Para tanto, foi realizado um mapeamento básico da rede, por meio do reconhecimento visual dos canais e valas a céu aberto (sobre ortofotos) e da busca de informações acerca da rede subterrânea junto aos técnicos do setor de projetos de redes da autarquia de saneamento (SANEP).

Mesmo com um grau imprecisão e incompletude no que se refere à parte subterrânea, por falta de dados, o mapa produzido (Apêndice C) proporciona uma visão geral do sistema de drenagem da cidade e destaca a importância do sistema de proteção das áreas baixas junto aos canais São Gonçalo e Santa Bárbara, constituído por diques, canais de escoamento, comportas e um conjunto de bombas de recalque. O sistema de diques e comportas impede que tais áreas, que estão em cotas próximas a 1 metro acima do nível do São Gonçalo, sejam tomadas pelas águas quando da elevação do canal. As comportas, do tipo *bypass* são fechadas e o sistema de bombas acionado sempre que o nível d'água externo aos diques se mostre mais elevado, impedindo o escoamento por gravidade.

Desse modo, nas ocorrências pluviométricas intensas, o funcionamento de boa parte do sistema (drenagem das bacias hidrográficas do Arroio Pepino e do Canal Santa Bárbara) é totalmente dependente do desempenho do sistema de bombas.

O sistema original, projetado e executado entre os anos de 1940 e 1990, possuía seis conjuntos de bombas, das quais 05 permanecem em atividade. A estas, foram adicionados mais dois conjuntos: um próximo à localidade conhecida como Doquinhas, na região central, e outra no entroncamento dos canais de drenagem da rua Vinte e Nove e Nova Prata, no Laranjal. Conforme os técnicos do Setor de Projetos da autarquia de saneamento, a quase totalidade das bombas possuem capacidade abaixo da necessária, em especial a do

Laranjal, cuja drenagem também é prejudicada pelas interrupções e estrangulamentos do canal de drenagem da rua Vinte e Nove do Loteamento Pontal da Barra, sendo de pouca eficiência. O evento do ano 2004, que atingiu boa parte da área protegida junto ao canal Santa Bárbara, mostra a fragilidade e a baixa eficiência do sistema

Os pontos de bombeamento, bem como as áreas baixas protegidas são indicadas no mapa da Figura 8.20. Essas foram divididas em duas: uma de maior nível de suscetibilidade à ocorrência de inundações (nível 2), a qual corresponde às áreas que englobam o Canal Santa Bárbara e os canais de drenagem junto ao mesmo e outra, de menor nível de suscetibilidade (nível 1), correspondente às demais áreas. A maior suscetibilidade da primeira área se deve ao maior volume de água escoado, considerando os canais de drenagem e a dimensão da bacia, a menor capacidade do sistema de recalque e ao fato de já ter ocorrido inundações da mesma no evento de 2004. Devido à baixa eficácia, demonstrada pela inundações de 2015, não foi mapeada nenhuma área de proteção relativa ao sistema do Laranjal.

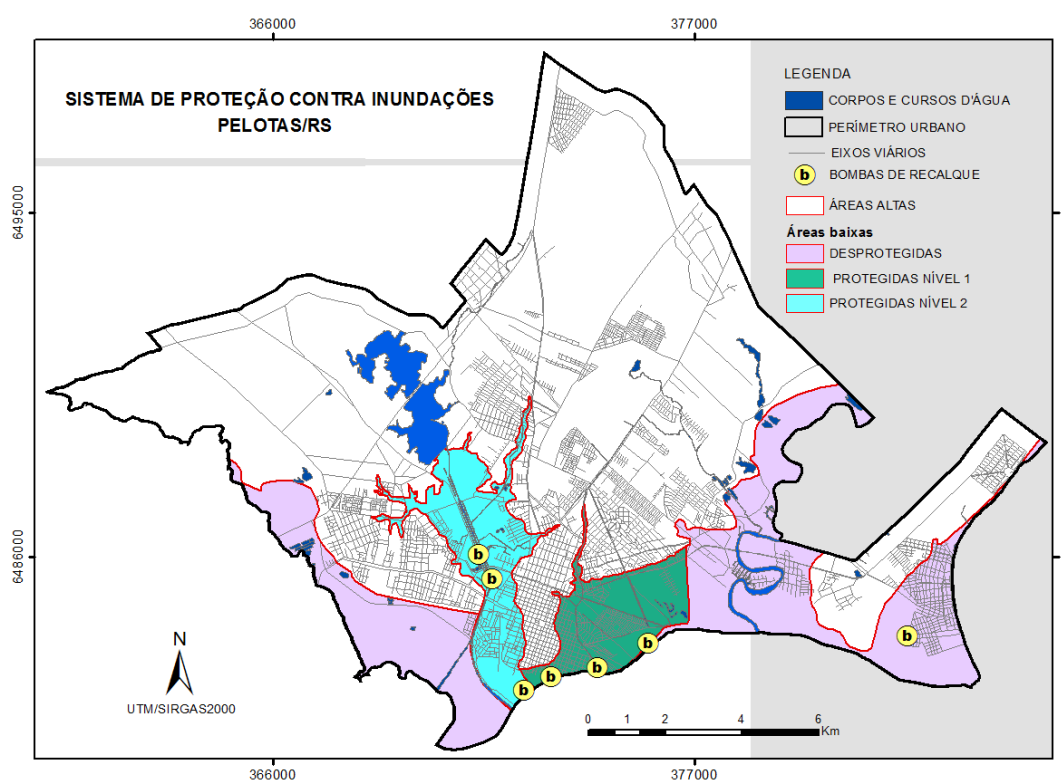


Figura 8.20: Sistema de proteção contra inundações

#### 8.4 MAPA PRELIMINAR DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO

O mapeamento preliminar da aptidão dos solos à urbanização abrange o total da zona urbana e resulta do cruzamento dos planos de informações das suscetibilidades (PI

Suscetibilidade a Inundações e PI Suscetibilidade à Erosão Laminar) com o PI Unidades Geotécnicas e PI Áreas Protegidas Contra Inundações. O mapeamento seguiu a mesma sequência de procedimentos utilizados na construção dos mapas de suscetibilidade, qual seja: (i) conversão dos planos vetoriais para o formato raster; (ii) atribuição dos pesos para as diferentes classes de cada plano; (iii) reclassificação dos rasters com os pesos atribuídos; (iv) definição dos percentuais de contribuição de cada plano através da aplicação do método AHP (Analytic Hierarchy Process); (v) cruzamento dos planos, através de operação algébrica de mapas.

#### 8.4.1 Atribuição de Pesos

Seguindo a metodologia estabelecida para a suscetibilidade, foram definidas cinco classes de aptidão à urbanização e atribuídos pesos a cada uma delas. Os pesos, que variam de 1 a 5, foram relacionados a cada uma das classes dos planos de informações cruzados, indicando o nível de importância que a classe tem na composição da aptidão dos terrenos ao uso e à ocupação tipicamente urbanos.

As classes dos planos de informações relativos à suscetibilidade à erosão e suscetibilidade a inundações receberam pesos de 1 a 5, sendo atribuído peso 1 para a classe de muito alta suscetibilidade e, de forma crescente, pesos 2, 3, 4 e 5 para as demais. Para as classes do PI Unidades Geotécnicas foram estabelecidos pesos relativos à maior ou menor capacidade de suporte das fundações, de acordo com a profundidade, e a possibilidade de ocorrência de recalques devido à presença de argila de consistência muito mole a mole. Não se consideraram os atributos das unidades relativos à drenagem e propensão dos terrenos à processos erosivos, visto que estes já compuseram as suscetibilidades através das componentes relativas à geologia e à pedologia. Devido à variabilidade da ocorrência de argila mole e, por consequência, da capacidade de suporte, anteriormente analisadas, a unidade GM3dpfl foi subdividida em duas porções, uma junto aos cursos d'água (Arroio Pelotas e Canal São Gonçalo) e outra junto às unidades SX3da e ESKdpcl, denominadas, respectivamente, GM3dpfl-2 e GM3dpfl-1. Por fim, os pesos das unidades geotécnicas restaram atribuídos, conforme a Tabela 8.7.

Tabela 8.7: Unidades geotécnicas e seus pesos

Unidade	Peso
GM1da	2
RYda	2
SX4da	3
PVAdpb2	4
SX5dpb2	5
SX3dla	5
SX1dca	5
RQde	1
ESKdpcl	3
GZdpcl	1
GM1dpfl	1
GM3dpfl(1)	3
GM3dpfl(2)	1
OJdpt	1

A influência mitigadora do sistema antrópico de drenagem sobre a suscetibilidade dos terrenos a inundações foi avaliada através do sistema de proteção das áreas baixas. Isto porque: (i) não existem dados que possibilitem a análise qualitativa da eficiência do sistema como um todo; (ii) os relatos históricos e os mapeamentos das áreas de atingimento dos eventos de 2004, 2009 e 2015 apontam para ocorrência quase exclusiva do fenômeno nestas áreas. O PI Áreas Protegidas Contra Inundações possui somente quatro classes: três referentes às áreas baixas e uma representativa das áreas altas. Para as áreas baixas desprotegidas, foi atribuído peso 1. Para áreas baixas protegidas, devido à subcapacidade do sistema de bombeamento e as falhas já apresentadas, foi atribuído o peso 3 as de maior suscetibilidade (nível 2); e peso 4 as de menor suscetibilidade (nível 1). Para as áreas altas, em virtude da presença de rede de drenagem, peso 2.

#### 8.4.2 Cruzamento dos Planos de Informações

Já estando previamente definidos o problema e o objetivo (mapeamento da aptidão dos terrenos à urbanização), a estrutura hierárquica de critérios para aplicação do método Analytic Hierarchy Process (AHP) restou definida, conforme a Figura 8.21 e a matriz pareada conforme a Tabela 8.8;

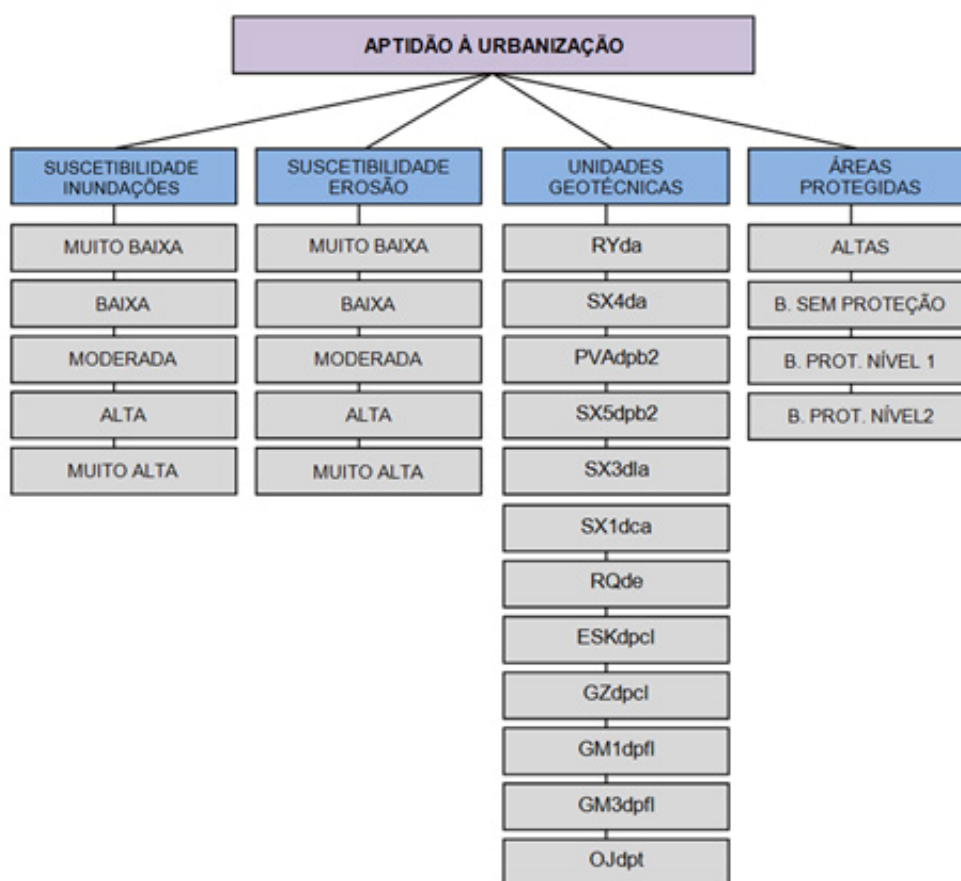


Figura 8.21: Estrutura hierárquica de critérios para aplicação do AHP ao mapeamento da aptidão à urbanização

Tabela 8.8: Matriz de comparação pareada entre os PIs que compõem o mapeamento da aptidão à urbanização

PI	SUSC. INUND	SUSC. EROS.	UNID. GEOTEC.	AREAS PROT.
SUSCET. INUND.	1,00	5,00	3,00	2,00
SUSCET. EROSÃO	1/5	1,00	1/3	1/3
UNID. GEOTÉCNICAS	1/3	3,00	1,00	1/2
ÁREAS PROTEGIDAS	1/2	3,00	2,00	1,00

Considerando-se que o problema de ordem geológico-geotécnicas que mais afeta a aptidão à urbanização na cidade de Pelotas consiste na suscetibilidade dos terrenos à ocorrência de inundações, o PI relacionado ao tema é o de maior prevalência. Seguem a ele, o PI concernente às intervenções antrópicas que buscam evitar ou minimizar a ocorrência do fenômeno. Logo após, mas com significativa importância, aparecem as unidades geotécnicas, as quais sintetizam a maior ou menor capacidade dos solos de dar suporte às obras civis. Por último, a suscetibilidade à erosão laminar, visto que esta, na área de estudo,

constitui um questão de menor relevância em relação às demais. O cálculo dos pesos relativos dos planos de informações é apresentado na Tabela 8.9 abaixo.

Tabela 8.9: Cálculo dos pesos de cada um dos PI que compõem a análise da suscetibilidade à erosão

PI	SUSC. INUND.	SUSC. EROS.	UN. GEOTEC.	A. PROTEG.	PESOS (Wi)	% Wi
SUSC. INUND.	0,49	0,42	0,47	0,52	0,4760	47,60%
SUSC. EROSÃO	0,10	0,08	0,05	0,09	0,0803	8,03%
UNID. GEOTÉC.	0,16	0,25	0,16	0,13	0,1756	17,56%
ÁREAS PROTEG.	0,25	0,25	0,32	0,26	0,2681	26,81%

A seguir apresenta-se a verificação de consistência do resultado. Primeiro, através dos valores calculados para  $A_w$  (Tabela 8.10), obtidos através da multiplicação da matriz de comparação, pela matriz dos pesos calculados.

Tabela 8.10: Valores calculados para  $A_w$

PI	$A_w$
SUSCETIB. A INUNDAÇÕES	1,9406
SUSCETIB. A EROSÃO	0,3234
UNIDADES GEOTÉCNICAS	0,7093
ÁREAS PROTEGIDAS	1,0982

A seguir, por meio do cálculo do autovetor máximo ( $\lambda_{m\acute{a}x}$ ):

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[A_w]_i}{w_i} = \frac{1}{4} \left( \frac{1,9406}{0,4760} + \frac{0,3234}{0,0803} + \frac{0,7093}{0,1756} + \frac{1,0982}{0,2681} \right) = 4,0598$$

Passando-se pela determinação do IC:

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{4,0598 - 4}{4 - 1} = 0,0199$$

Para, por fim, chegar-se ao cálculo da Razão de Consistência (RC):

$$RC = \frac{IC}{IR} = \frac{0,0199}{0,90} = 0,0221$$

O resultado da RC ficou abaixo de 0,10 (limite de admissibilidade), demonstrando que os valores numéricos atribuídos aos julgamentos comparativos, bem como os pesos



calculados, apresentam-se coerentes. O cruzamento dos planos de informações (álgebra de mapas) foi realizado com base na seguinte equação (Equação 8.1):

$$APU = [(SI \times 0,4760) + (SE \times 0,0803) + (UG \times 0,1756) + (AP \times 0,2681)]$$

Equação 8.1 - Aptidão à urbanização, onde: SEI = suscetibilidade a inundações; SE = suscetibilidade à erosão laminar; UG = unidades geotécnicas; AP = áreas protegidas.

O resultado da operação (mapa preliminar de aptidão à urbanização da cidade de Pelotas) é apresentado na Figura 8.22.

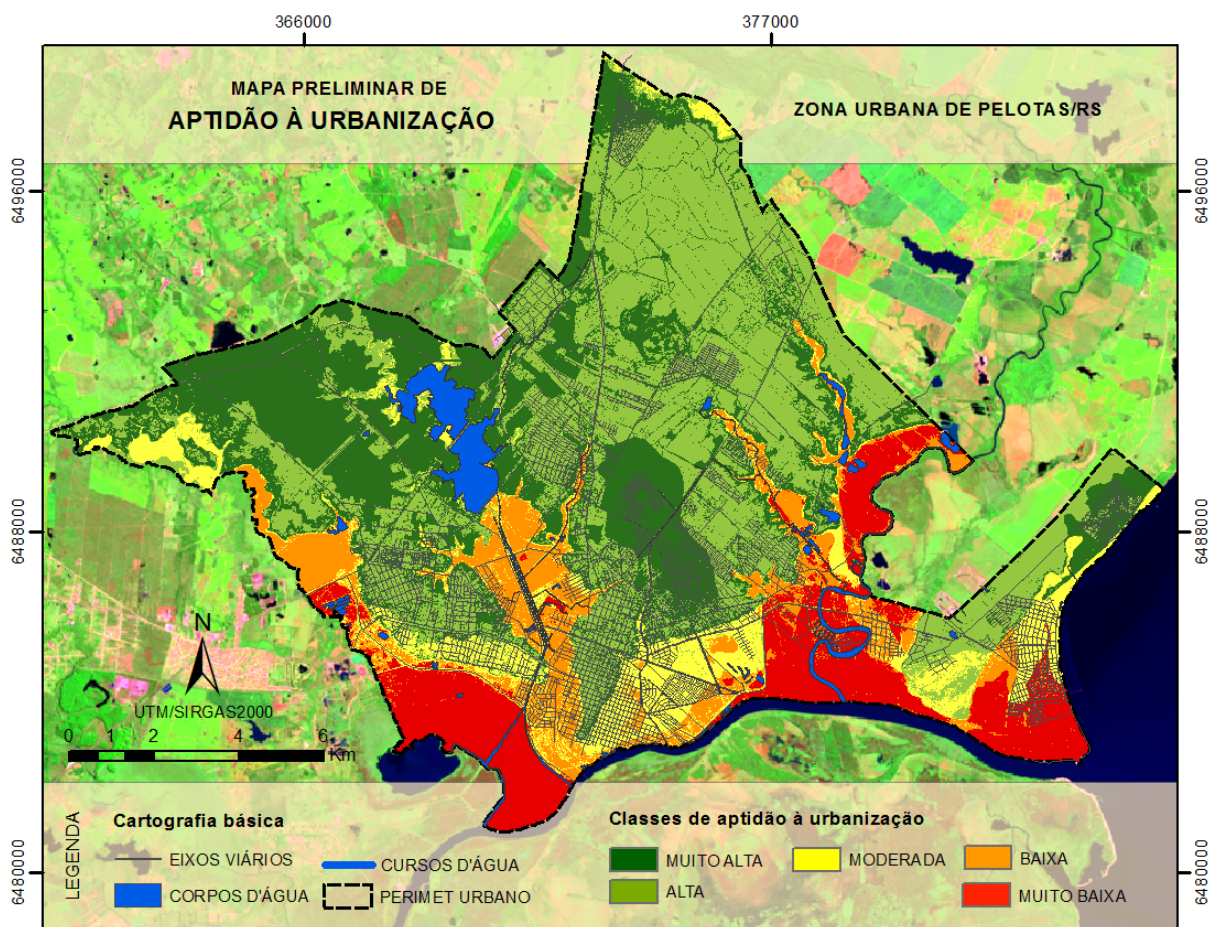


Figura 8.22: Mapa preliminar de aptidão à urbanização da cidade de Pelotas

## 8.5 ANÁLISE DO CRESCIMENTO URBANO

A etapa de análise do crescimento urbano objetiva delimitar, entre as disponíveis, as áreas com maior potencial de ocupação urbana, em um horizonte de 25 anos e, desta forma, seguindo a lógica do mapeamento progressivo, dirigir os esforços de análise e

caracterização às áreas de maior premência de informações geotécnicas para o planejamento.

A seleção das áreas prioritárias ao mapeamento geotécnico segue a seguinte sequência geral de procedimentos: (i) delimitação prévia das áreas disponíveis ao crescimento (vazios urbanos); (ii) simulação do crescimento pelo modelo implementado através do software CityCell; (iii) definição do potencial de ocupação futura dos vazios.

### 8.5.1 Delimitação dos Vazios Urbanos

O mapeamento dos vazios urbanos, considerados, neste trabalho, como áreas disponíveis ao crescimento urbano, teve, por base, o cruzamento da ortofoto do ano 2015, com a base vetorial de lotes e áreas verdes da PMPel e seguiu a seguinte sequência básica de procedimentos:

- a) mapeamento, a partir da base de dados de lotes, fornecida pela PMPel, do grau de ocupação do solo por lote (percentual edificado);
- b) segmentação dos imóveis considerados territoriais, adotando-se, para tal, a taxa mínima de ocupação do lote de 7,5% (definida pela lei municipal 6.178/2014), e exclusão dos demais imóveis;
- c) análise de usos, identificação e exclusão das áreas correspondentes a grandes praças, parques, clubes esportivos, aeroportos e outras que, apesar de consideradas territoriais, não estão sujeitas ao parcelamento e uso, ou possuem uso e destino que impedem ou reduzem a possibilidade de apropriação futura como estoque construído;
- d) remoção das fronteiras (limites) entre os lotes contíguos e exclusão das áreas menores que 10 ha, consideradas poucos significativas a respeito do crescimento e do planejamento urbano;
- e) correção, com base na ortofoto de 2015, de erros resultantes da desatualização do cadastro municipal e/ou da representação vetorial dos lotes;
- f) exclusão (ou subtração) das áreas de uso e ocupação restritos e/ou impedidos por disposição legal (Plano Diretor): áreas de preservação ambiental e cultural;
- g) simplificação cartográfica, por meio do agrupamento de vazios urbanos contíguos (distância menor que 50 metros) e da redução do número de vértices dos polígonos (respeitando a precisão escalar);

h) divisão, a partir do sistema viário, dos grandes vazios em áreas menores.

A Figura 8.23 mostra as etapas finais do mapeamento dos vazios urbanos e a Figura 8.24 o mapa dos vazios. Foram mapeados 76,53 km<sup>2</sup> de áreas disponíveis para o crescimento espacial urbano da cidade de Pelotas (39,71% da área urbana).

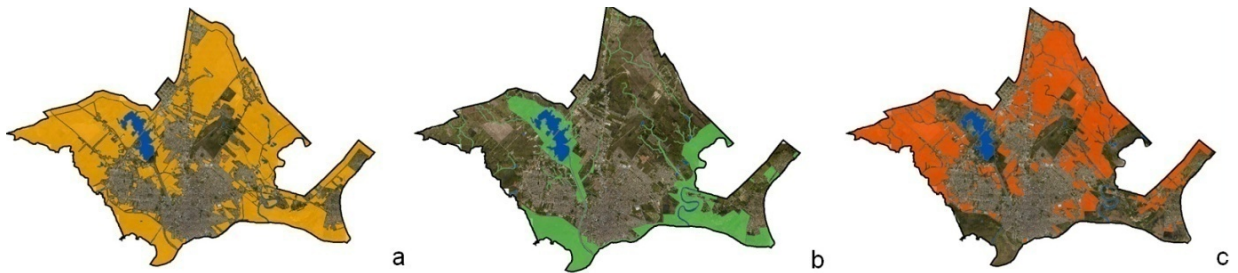


Figura 8.23 - a) vazios urbanos; b) áreas de preservação ambiental e cultural; c) vazios urbanos após a subtração das áreas de preservação ambiental e cultural.

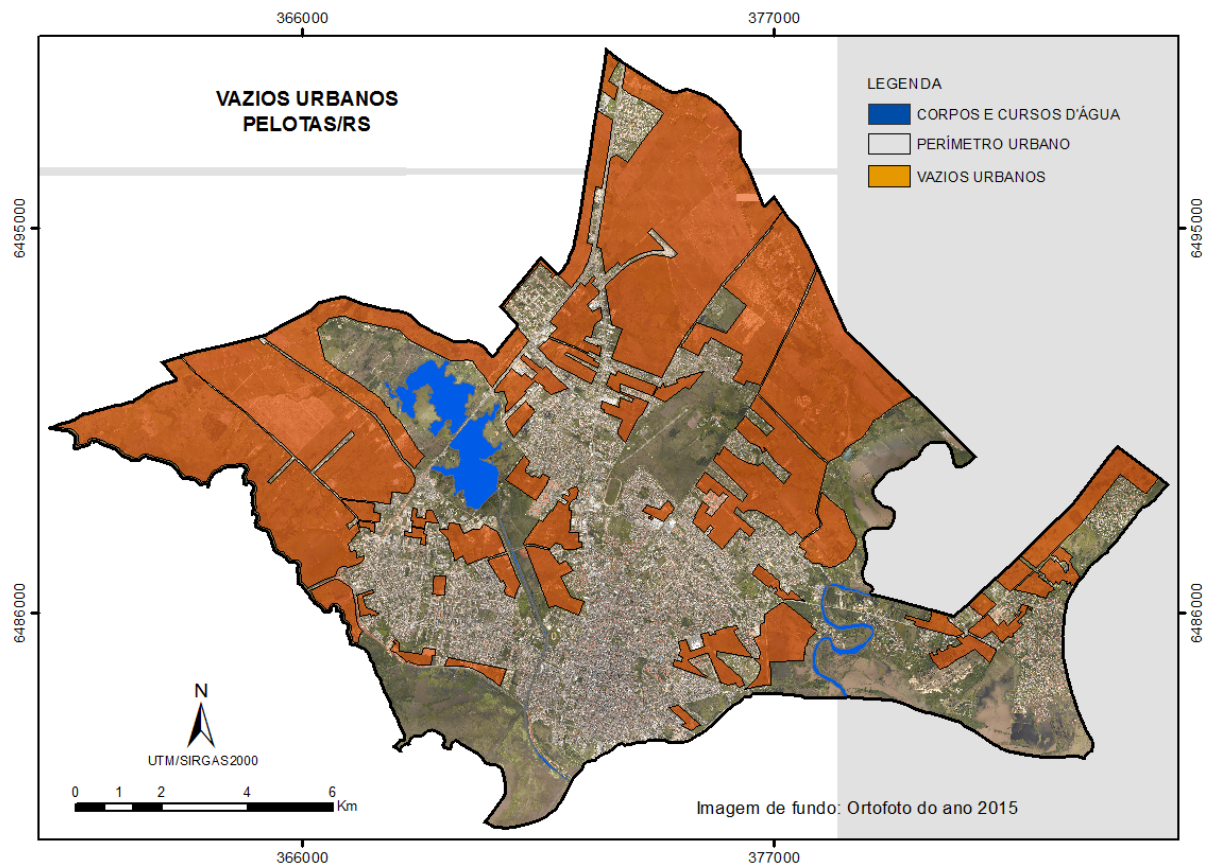


Figura 8.24: Mapa dos vazios urbanos de Pelotas

## 8.5.2 Crescimento Urbano de Pelotas

O estudo e simulação do crescimento urbano para cidade de Pelotas foi realizado através do modelo baseado em Celulares Autômatos, implementado pelo software CityCell. Os principais conceitos associados ao CityCell; a calibração inicial das variáveis e a simulação do crescimento espacial da cidade de Pelotas do ano 2015 ao ano 2040 são apresentadas a seguir.

### 8.5.2.1 Modelo de Simulação do Crescimento Urbano - CityCell

Polidori (2004), associando conceitos derivados da ciência do espaço, modelos urbanos, teoria de sistemas e ecologia da paisagem, desenvolveu um modelo de simulação do crescimento urbano, com o objetivo de expor teorias sobre a evolução espacial da cidade e suas relações com a paisagem. O modelo integra fatores urbanos, naturais e institucionais, que atuam, tanto como atração, quanto como resistência à urbanização, simulando crescimento interno e externo à cidade preexistente (SARAIVA, 2013). O modelo se apropria de princípios contidos no modelo de Centralidade e Potencial de Krafft (1994) e os aplica a um ambiente computacional, que integra elementos da teoria de grafos com celulares autômatos, permitindo tratar, conjuntamente, relações de vizinhança imediata (alcançadas por CA) e relações de vizinhança remota (alcançadas por grafos) (SARAIVA, 2013). A operacionalização do modelo foi realizada com uso de recursos de SIG, implementada através do software *CityCell - Urban Growth Simulator*. O CityCell fornece as ferramentas básicas de processamento e visualização de dados geográficos, necessárias à entrada, manipulação dos dados e parametrização das simulações, e recursos para a visualização, análise e avaliação dos resultados gerados (SARAIVA, 2013).

Operando sobre uma base espacial no formato de um *grid* bidimensional de células regulares, o CityCell permite a inserção de variáveis (atributos) urbanas, naturais e institucionais, as quais podem ser definidas como uma atração ou uma resistência à urbanização. Os atributos **naturais** representam fatores do ambiente natural, modificados ou não pela ação antrópica; os atributos **urbanos** expressam o uso do solo, o sistema viário, a infraestrutura, entre outros, e os atributos **institucionais** representam as práticas e recursos utilizados nas políticas de uso e ocupação do solo e no processo de planejamento, como, por exemplo, os índices urbanísticos, o zoneamento do uso do solo, entre outros dados. Para cada atributo pode ser definido um peso que representa seu grau de importância no processo de evolução da cidade. O modelo expande o conceito clássico de CA, possibilitando que cada uma das células do *grid* contenha, simultaneamente, mais de um atributo (dentre os três tipos anteriormente citados) e que cada atributo possua um nível de

intensidade (SARAIVA, 2013). A quantidade de atributos em cada grupo é definida pelo usuário, considerando uma avaliação prévia de sua importância como condicionante do crescimento da cidade e a disponibilidade de informações.

No modelo de crescimento urbano implementado pelo CityCell, as células de um CA podem representar dois tipos básicos de espaços: (i) o ambiente não urbanizado, formando pelo meio físico natural e pelos usos tipicamente rurais; (ii) o ambiente urbanizado, composto desde os vazios urbanos até as porções territoriais de alta densidade. Uma célula do *grid* pode possuir um estado urbano ou não urbano. Os atributos associados ao espaço (naturais, urbanos e institucionais) assumem dois estados básicos durante o processo: (i) **carregamentos**, os quais geram tensões, que, por sua vez, geram diferenciação espacial (através da medida de centralidade) e posterior crescimento urbano, (através da medida de potencial); (ii) **resistências**, as quais se opõe ao crescimento urbano consumindo tensões de crescimento. Atração e resistência são, no modelo, abstrações que representam esforços ou investimentos em mudanças no território, aumentando seu grau de urbanização (POLIDORI, 2004).

Conforme a capacidade de gerar tensões ou resistência ao crescimento urbano, permitir ou não a urbanização interna e serem, ou não, removidos do sistema (substituídos por outro atributo), os carregamentos e as resistências podem ser divididos em: a) instáveis; b) estáveis; c) *freezing*. Os carregamentos instáveis são aqueles que geram tensões de crescimento, permitem a urbanização interna e podem ser removidos; os estáveis são aqueles que geram tensão de crescimento, permitem a urbanização interna e não podem ser removidos; e os carregamentos *freezing*, são aqueles que geram tensões de crescimento, impedem a urbanização interna e não podem ser removidos. As resistências instáveis, por sua vez, são aquelas que geram resistência ao crescimento urbano, não impedem a urbanização interna e não podem ser removidas; as estáveis são aquelas que geram resistência ao crescimento, não impedem a urbanização interna e não podem ser removidas; as resistências *freezing*, por fim, geram resistência ao crescimento urbano, não permitem a urbanização e não podem ser removidas (POLIDORI, 2004). A Tabela 8.11 apresenta o esquema de organização dos atributos, a partir da sua capacidade de gerar atração ou resistência ao crescimento urbano.

Tabela 8.11: Esquema e organização dos atributos, a partir da sua capacidade de gerar atração ou resistência ao crescimento urbano

ATRIBUTOS	ESTADOS BÁSICOS		EXEMPLOS/CARACTERÍSTICAS
naturais	carregamentos	instáveis	entorno livre de um curso d'água, boa capacidade de infiltração dos solos
		estáveis	clima ameno, orientação ideal, alta capacidade de carga do substrato.
		freezing	praias, dunas, unidades de conservação.
	resistências	instáveis	mata plantada, campo
		estáveis	clima agressivo, declividade acentuada
		freezing	mar, escarpa
urbanos	carregamentos	instáveis	habitação, comércio e demais usos do solo
		estáveis	sistema de infraestrutura instalados
		freezing	parque urbano
	resistências	instáveis	insuficiência de infraestrutura
		estáveis	parcelamento do solo ou gabarito viário inadequado
		freezing	depósito de lixo urbano a céu aberto
institucionais	carregamentos	instáveis	IPTU progressivo no tempo
		estáveis	áreas preservadas em sítio históricos
		freezing	áreas tombadas
	resistências	instáveis	áreas com restrições decorrentes do regime legal de uso do solo
		estáveis	índices e taxas de aproveitamento do solo
		freezing	áreas não edificáveis

(Fonte: Polidori, 2004)

O modelo de crescimento assume que, para cada par de células que possui um carregamento, é desenvolvida uma tensão a qual é calculada através do produto do carregamento total de cada célula, pelo carregamento total de cada uma das outras que lhes são alcançáveis. As tensões geradas são distribuídas para as células do sistema de três formas: (i) axial: a tensão é distribuída para aquelas células que estão no caminho preferencial entre o par de células que a geram; (ii) polar: a tensão é distribuída para aquelas células que estão na vizinhança do par de células que a geram; (iii) difusa: a tensão é distribuída para células dispersas no sistema, escolhidas por sorteio probabilístico, que leva em conta as características tipo-morfológica de cada célula. A Figura 8.25 representa as distribuições de tensões em uma grade celular autômato típica. A cada uma das quatro formas de distribuição, o usuário do modelo pode destinar um percentual do total

das tensões geradas, conforme os objetivos da simulação ou de forma a aproximar a mesma da realidade local estudada (calibração do modelo).

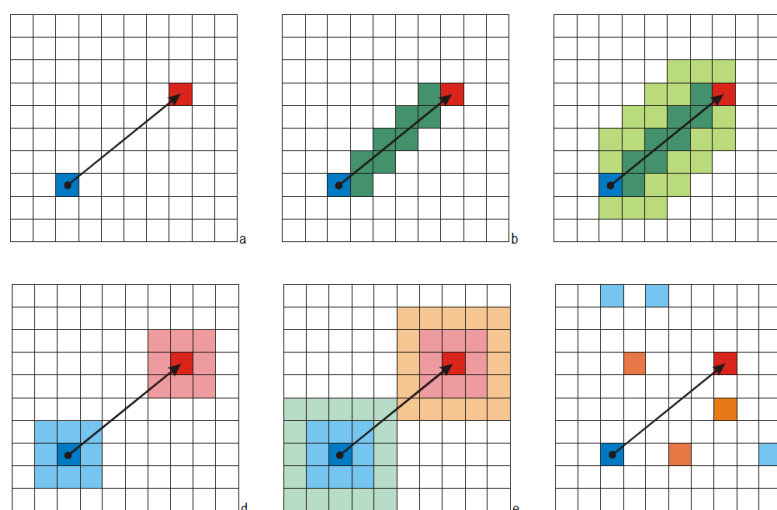


Figura 8.25: Diagramas em formato de CA, representando: a) tensão gerada entre duas células; b) células incluídas na distribuição axial de caminho preferencial (verde); c) células incluídas na distribuição axial de buffer de caminho preferencial, com raio igual a uma célula (verde claro); d) células incluídas na distribuição de tensões do tipo polar, com vizinhança de raio igual a uma célula (azul claro e rosa); e) mesmo caso anterior, com vizinhança de raio igual a duas células; f) hipótese de células incluídas na distribuição difusa (baseado em: POLIDORI, 2004)

Os resultados parciais do cálculos das tensões são acumulados em cada célula do sistema, gerando a medida de centralidade celular. O modelo assume a premissa de que o crescimento urbano ocorre em locais onde há maiores potenciais de renda, obtida mediante a melhor localização, pelo menor custo de aquisição, com maior possibilidade de construção. Sendo assim, o local onde ocorre o crescimento urbano, bem como a sua intensidade, é calculado pelo potencial de crescimento celular, o qual é obtido pela diferença entre a centralidade máxima da vizinhança e a centralidade de cada célula. Pode, ainda, implicar em crescimento interno (crescimento por densificação) ou externo às células urbanas preexistentes (crescimento espacial). Apresentam maior potencial para mudança de estado celular, através da qual ocorre o crescimento urbano espacial, aquelas células que possuem menor centralidade própria, combinadas com maior centralidade na vizinhança (POLIDORI, 2004).

Os resultados do processo de simulação são apresentados pelo CityCell de duas formas: (i) imagens (dados matriciais) e; (ii) tabelas. Para cada passo do processo gera-se uma imagem com a representação das células urbanas, a qual pode estar sobreposta a outra imagem de referência como, por exemplo, uma imagem de satélite (Figura 8.26).

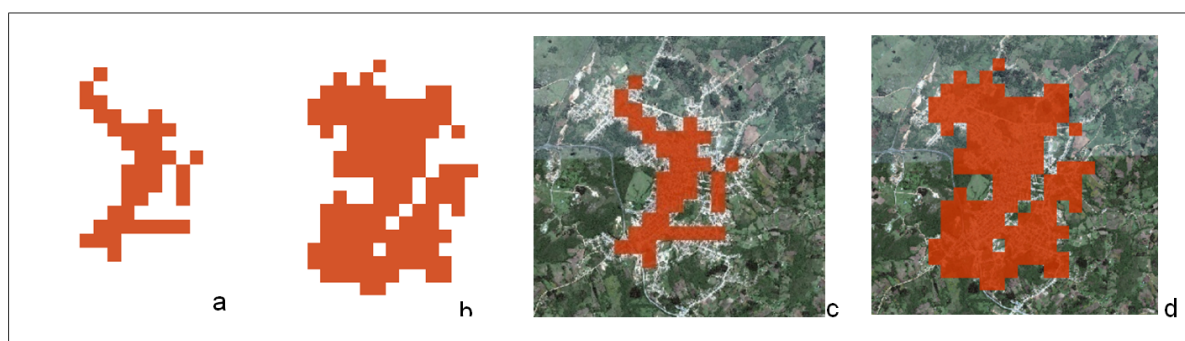


Figura 8.26: Simulação do crescimento da cidade de Canguçu / RS: a) mancha urbana no ano de 1967; b) mancha urbana após 40 interações do sistema; c) mancha urbana de 1964 sobreposta à imagem de satélite do ano 2013; d) mancha urbana, após 40 interações do sistema, sobreposta a imagem do satélite QuickBird, ano 2013

### 8.5.2.2 Calibração e Validação do Modelo

Tratando-se de um modelo pré-existente, diversas etapas conceituais e práticas da modelagem já foram cumpridas durante sua construção, restando apenas, no presente caso, a última: calibração e validação do modelo para os dados de entrada disponíveis (LIU, 2009).

Além da configuração de parâmetros internos do modelo, as variáveis e seus pesos devem ser validadas. Uma forma usual de validação consiste na comparação dos resultados das simulações com dados históricos do crescimento urbano pretérito da área em estudo. Diante disso, para este trabalho, o modelo foi calibrado e validado através da simulação do crescimento da cidade entre os anos de 1965 e 2011 (Figura 8.27). Por meio do estudo de calibração, foram definidos os atributos utilizados e seus respectivos pesos (Tabela 8.12), os quais serviram de base para a simulação do crescimento urbano de Pelotas do ano de 2015 ao ano de 2040.



Figura 8.27: Resultado dos testes de calibração e validação do modelo: a) mancha urbana de 1965; b) mancha urbana após 50% das interações; c) mancha urbana ao final do processo (2011). Imagem de fundo: satélite QuickBird, ano 2011



Tabela 8.12: Atributos utilizados na validação (calibração) do modelo

Atributo	Tipo	Peso	Comportamento	Estado
Águas lânticas	Ambiental	0,4	Resistência	Mutável
Águas lóaticas	Ambiental	1,0	Neutro	Freezing
Áreas baixas	Ambiental	0,5	Resistência	Mutável
Áreas públicas ocupáveis	Institucional	0,3	Atração	Mutável
Áreas não ocupáveis (aeroporto, cavg, etc)	Institucional	1,0	Resistência	Freezing
Áreas úmidas	Ambiental	0,6	Resistência	Mutável
Barragem e Laguna dos Patos	Ambiental	1,0	Neutro	Freezing
Centro comercial	Urbano	1,0	Atração	Mutável
Dunas	Ambiental	1,0	Resistência	Mutável
Linhas de drenagem	Ambiental	0,5	Resistência	Mutável
Mancha urbana	Urbano	1,4	Atração	Mutável
Matas nativas	Ambiental	1	Resistência	Mutável
Praias	Ambiental	1,0	Atração	Freezing
Sistema viário principal	Urbano	0,7	Atração	Mutável
Áreas com atividades agropastoris	Ambiental	0,5	Resistência	Mutável

### 8.5.2.3 Simulação do Crescimento Espacial da Cidade

Para a simulação do crescimento futuro da cidade, empregaram-se a quase totalidade dos atributos e pesos do teste de calibração, atualizados para o ano de 2015 e complementados por novas variáveis. Foram incorporadas às alterações dos sistemas viário e ambiental, redefinida a pré-existência dos estoques construídos (mancha urbana de 2015), incluídas as restrições ambientais e culturais e os potenciais construtivos estabelecidos no último plano diretor de Pelotas. Não se empregou o atributo "dunas", por estas já estarem contidas nas áreas de restrição ambiental do Plano Diretor. Foram acrescentados os seguintes atributos (Tabela 8.13).

Tabela 8.13: Atributos acrescentados para simulação do crescimento entre os anos 2015 e 2040

Atributo	Tipo	Peso	Comportamento	Estado
Diferenças de potencial construtivo do PD	Institucional	0,15 a 0,75	Atração	Freezing
Áreas de restrição ambiental	Institucional	0,5	Neutro	Freezing
Áreas de restrição cultural	Institucional	0,3	Neutro	Freezing

A distribuição de tensão entre os crescimentos axial, polar e difuso seguiu a configurada para a calibração, qual seja: 40% para o crescimento difuso; 40% para o crescimento axial; e 20% para o crescimento do tipo polar. Considerando uma taxa de crescimento espacial de 1,25%<sup>12</sup> ao ano, a simulação (Figura 8.28) aponta para uma evolução da mancha urbana da ordem de 36% em 25 anos (2015 a 2040), à qual correspondem 30 interações do sistema.

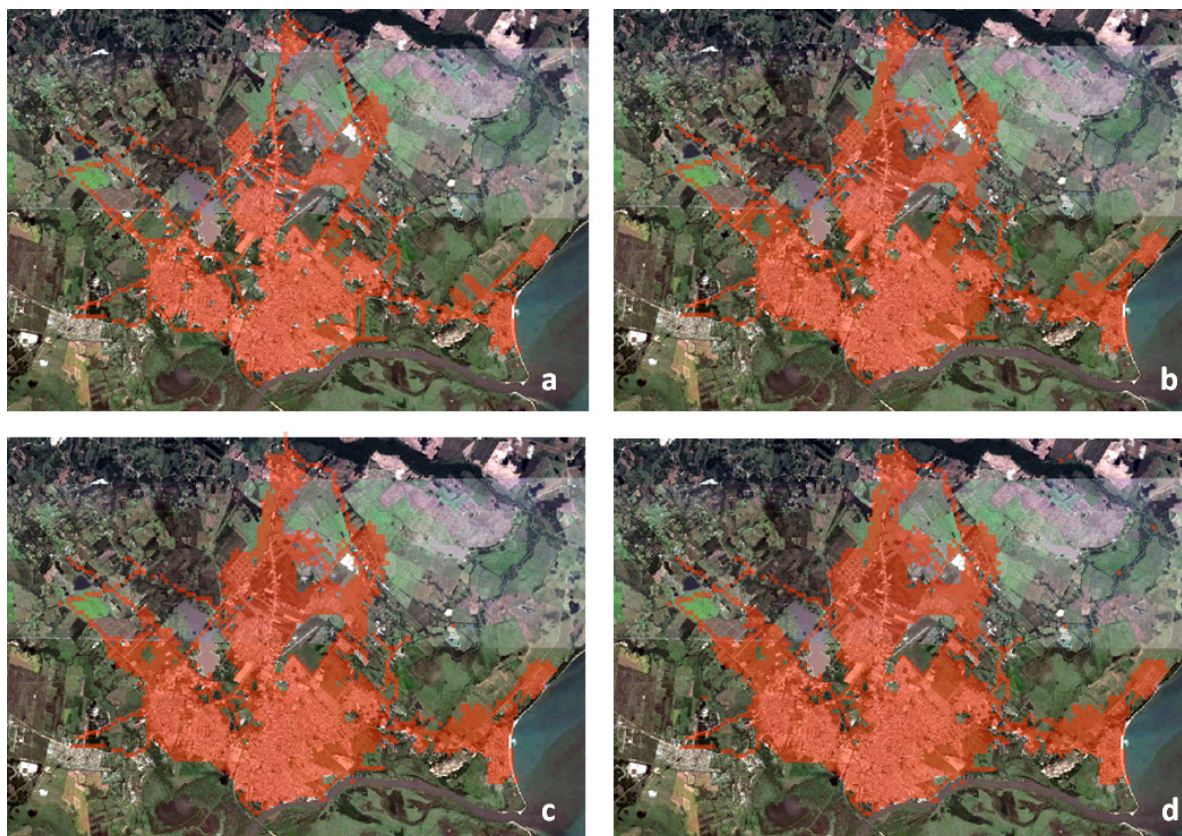


Figura 8.28: Resultado da simulação do crescimento urbano de Pelotas: a) mancha urbana no ano 2015; b) mancha urbana no ano 2021; c) mancha urbana no ano 2032; d) mancha urbana no ano 2040.

A subtração da mancha urbana de 2015 do *output* resultante da simulação (Figura 8.29), destaca as áreas que sofreram conversão de uso, passando para urbanas. Longe de

<sup>12</sup> A taxa de crescimento anual para a cidade de Pelotas foi calculada a partir da comparação das manchas urbanas de 1965, 1988, 1995 e 2015, considerando-se uma desaceleração no crescimento horizontal com o tempo, em função do aumento do crescimento vertical e da densidade, os quais refletem o aumento progressivo no custo da terra.

representar um fato futuro axiomático, o resultado aponta para uma probabilidade efetiva, simulada com base nas condições pretéritas e presentes, bem como em mecanismos de produção e reprodução do ambiente urbano construído, estudados e descritos pela ciência urbana contemporânea. Dos *outputs* resultantes da simulação (após conversão do formato raster para o vetorial) foi subtraída a mancha urbana de 2015 e destacadas as áreas que tiveram seu uso convertido para urbano, na metade das interações (12 anos e meio) e ao fim das mesmas (25 anos).

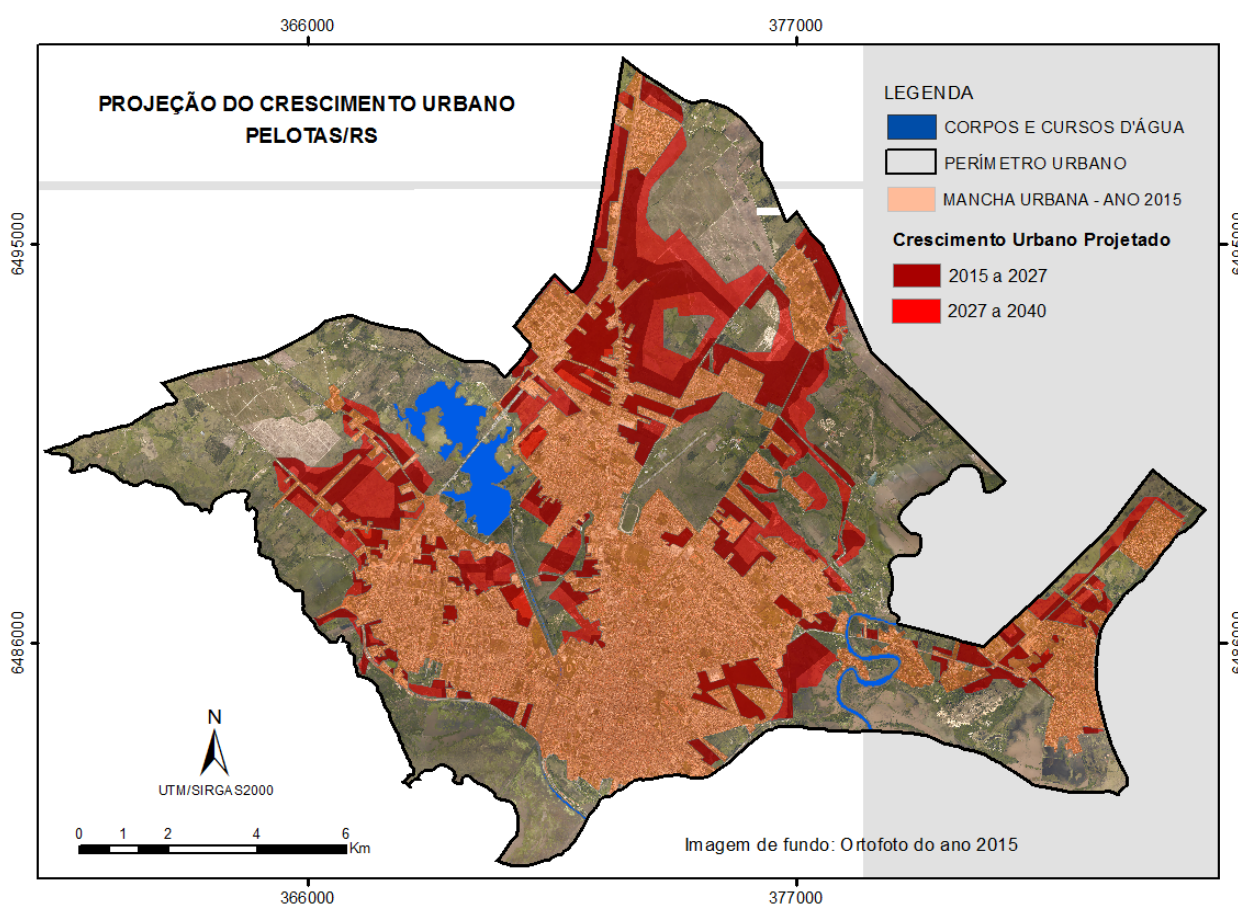


Figura 8.29: Mapa contendo a projeção do crescimento urbano para Pelotas até o ano 2040

### 8.5.3 Aptidão à Urbanização nos Vazios Urbanos

Para a caracterização dos vazios urbanos quanto à aptidão à urbanização, estes foram agrupados em oito conjuntos, tendo como critério de agrupamento suas localizações geográficas e as unidade geotécnicas que os compõem (Figura 8.30).

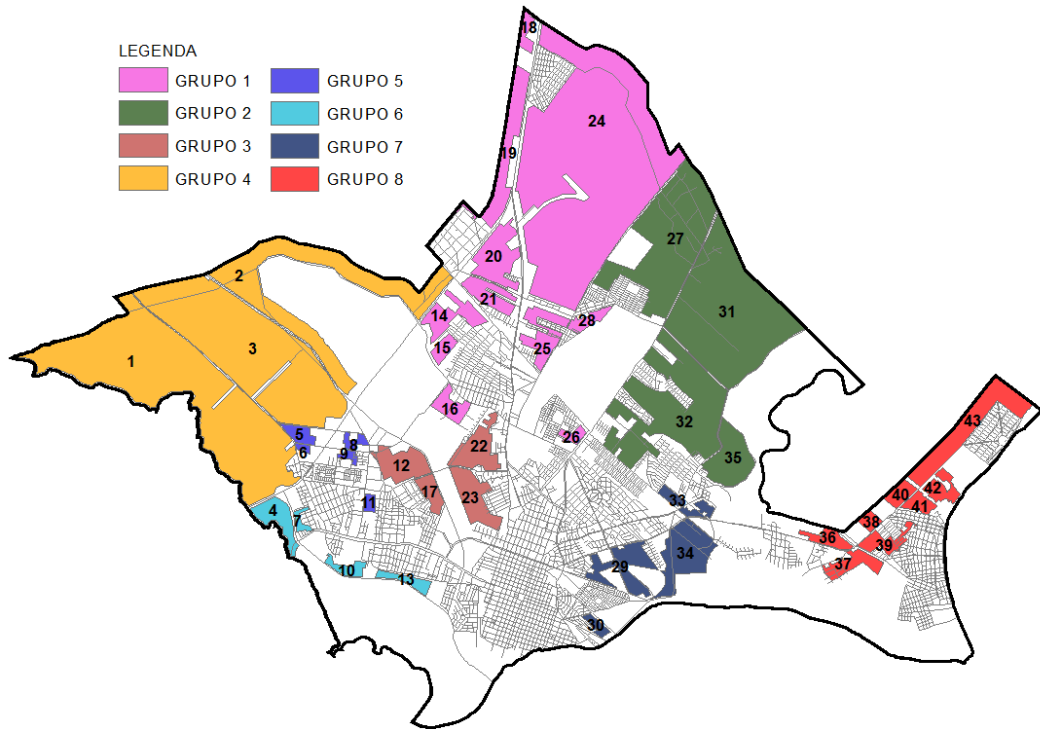


Figura 8.30: Agrupamento de vazios urbanos visando à análise da aptidão à urbanização

8.5.3.1 Grupo 1

O grupo 1 reúne 11 vazios urbanos situados na porção norte da zona urbana na Região Administrativa das Três Vendas. Com uma área total de 24,06 km<sup>2</sup> e crescimento urbano projetado conforme os gráficos da Figura 8.31, o grupo de vazios é formado por terrenos das unidades geotécnicas: SX3dla (90,17%); SX1dca (5,85%); SX4da (1,99%); RYda (1,51%); SX4da (0,36%); e GM1dpfl (0,11%) (Figura 8.32).

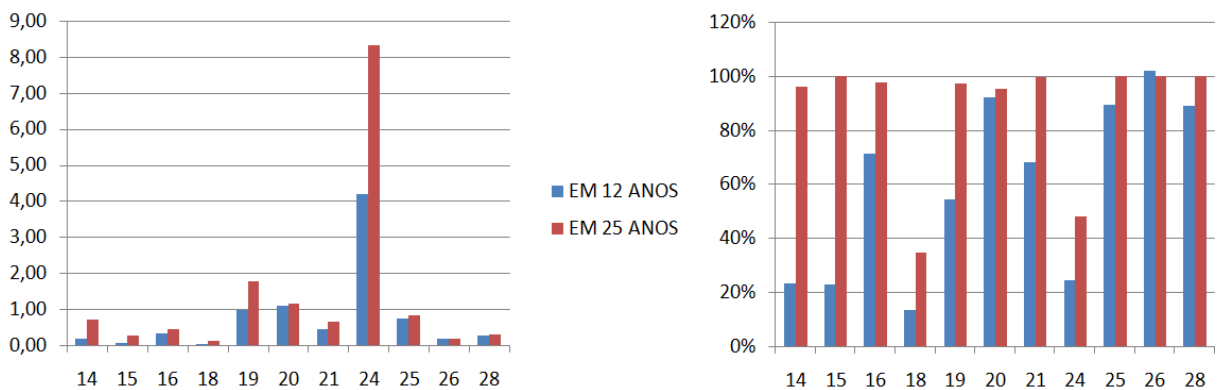


Figura 8.31: Gráficos do crescimento urbano nos vazios do grupo 1. À esquerda: crescimento em Km<sup>2</sup> (eixo y) por vazio (eixo x); À direita: crescimento percentual (eixo y) por vazio (eixo x)

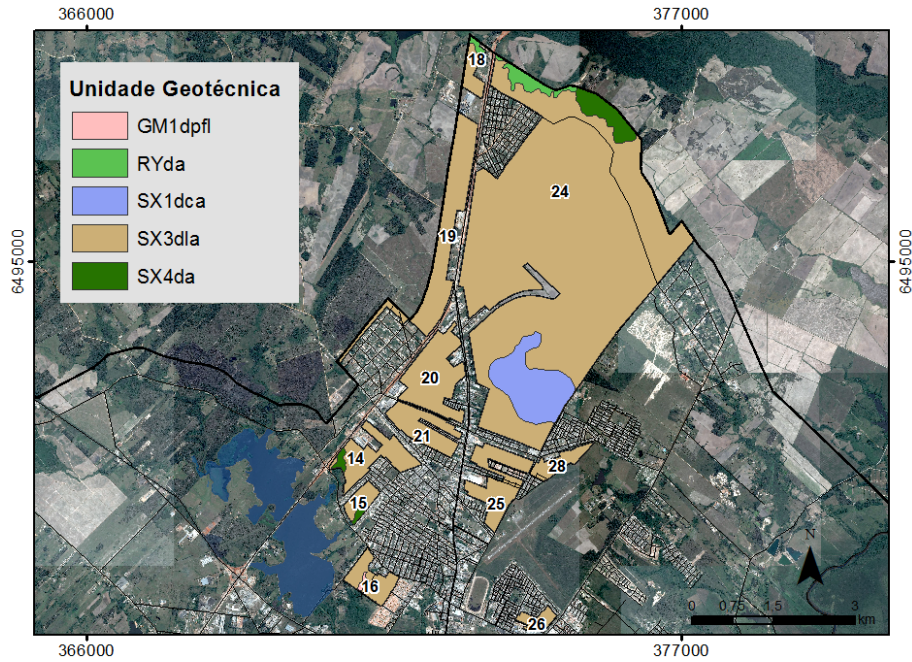


Figura 8.32: Unidades geotécnicas presentes nos vazios do grupo 1

Os terrenos desse grupo de vazios são, em quase sua totalidade, terrenos altos em forma de terraços que se inclinam levemente ( $0,5$  a  $1^\circ$ ) em direção ao Arroio Pelotas e ao Canal Santa Bárbara. De formação predominantemente pleistocênica, os terrenos possuem aptidão à urbanização predominantemente alta ( $66,86\%$ ) e muito alta ( $30,89\%$ ). Um percentual bem menor possui aptidão moderada ( $2,18\%$ ), seguido de aptidão baixa ( $0,07\%$ ) (Figura 8.33). Não há terrenos com aptidão muito baixa nesse grupo de vazios.

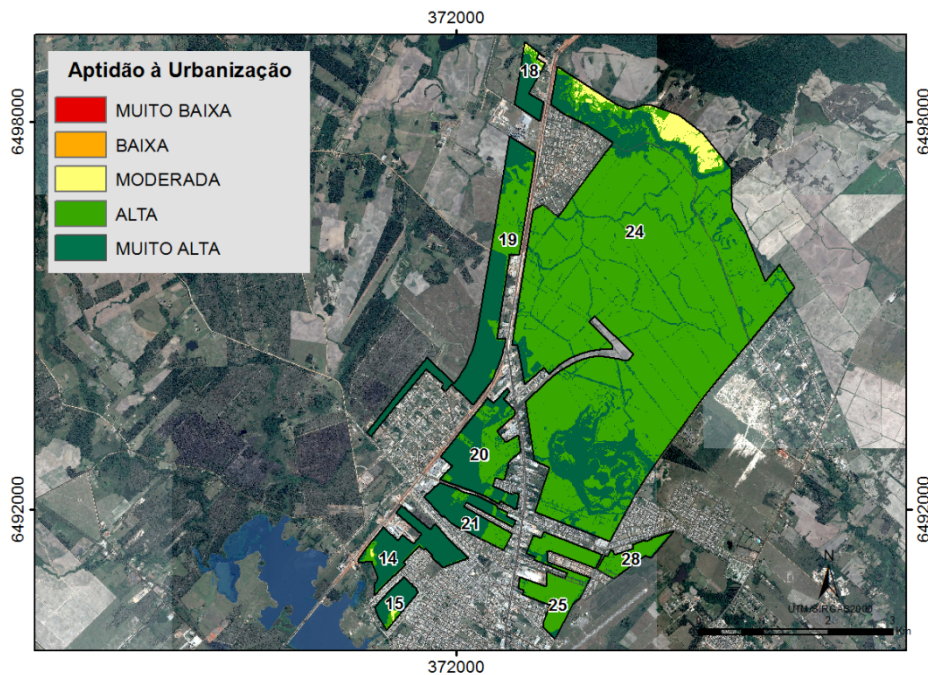


Figura 8.33: Níveis de aptidão à urbanização no grupo de vazios de nº 1

A alta e muito alta aptidão à urbanização, presente em 99,34% do grupo de vazios, se deve à: (i) preponderância de suscetibilidade moderada à ocorrência de inundações; (ii) baixa suscetibilidade à ocorrência de erosão (Tabela 8.14) e; (iii) bom suporte a fundações e execução de obras civis em geral, incluindo redes subterrâneas de infraestrutura, em decorrência das características geotécnicas da unidade SX3dla.

Tabela 8.14: Percentuais de ocorrência dos diferentes níveis de suscetibilidade nos terrenos pertencentes ao grupo 1 de vazios urbanos

NÍVEIS DE SUSCETIBILIDADE	% SUSCETÍVEL A INUNDAÇÕES	% Suscetível À EROSÃO
MUITO BAIXA	1,20%	1,93%
BAIXA	31,39%	90,91%
MODERADA	67,40%	6,84%
ALTA	0,01%	0,30%
MUITO ALTA	0,00%	0,03%

Neste contexto, tomando-se o devido cuidado a respeito da correta execução da rede de drenagem e de esgotamento sanitário, os terrenos do grupo de vazios 1 são aptos à urbanização. Alerta-se, também, para necessidade de manutenção da camada vegetal e do horizonte A dos terrenos não ocupados, pois, conforme já visto, devido à origem geológica dos solos da unidade SX3dla, presente em 90,17% da área do grupo, os mesmos, sem a devida proteção, são propícios à ocorrência de processos erosivos superficiais e subsuperficiais.

Ressalva-se que a plena urbanização dessas e de outras áreas da cidade está condicionada à melhoria geral dos sistemas de infraestrutura básica, principalmente das redes de drenagem e do sistema de tratamento de esgoto. Alerta-se que, mesmo que sejam executados sistemas locais nas novas ocupações, as redes gerais, que atualmente já encontram-se aquém da necessidade, não comportariam aumento significativo na quantidade de efluentes.

#### 8.5.3.2 Grupo 2

O grupo 2 é formado por 04 vazios urbanos situados na porção nordeste da zona urbana, a maior parte pertencente à Região Administrativa do Areal, exceção ao vazio de nº 27, que pertencente à Região Administrativa das Três Vendas. Com uma área total de 19,08 Km<sup>2</sup> e crescimento urbano projetado conforme os gráficos da Figura 8.34, o grupo de vazios é formado por terrenos das unidades geotécnicas: SX3dla (82,91%); GM3dpfl (9,38%); GM1da (6,13%); ESKdpcl (1,36%); e SX1dca (0,21%) (Figura 8.35).

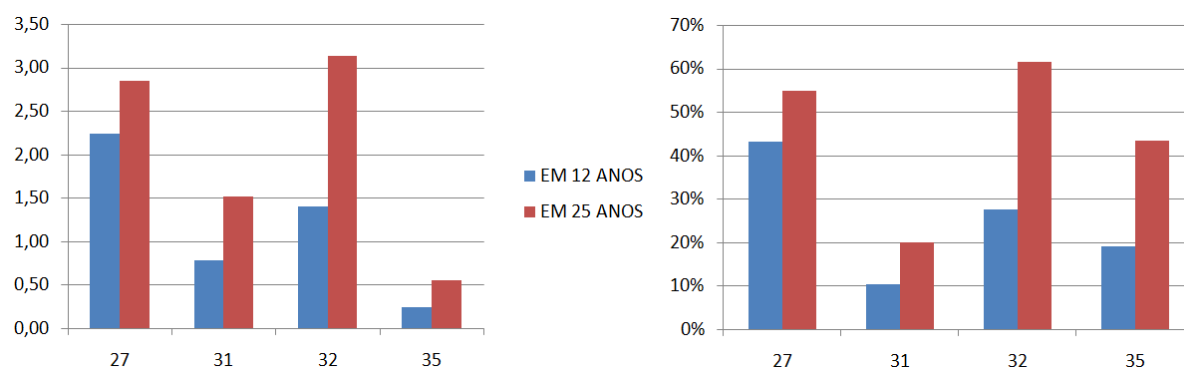


Figura 8.34: Gráficos do crescimento urbano nos vazios do grupo 2. À esquerda: crescimento em Km<sup>2</sup> (eixo y) por vazio (eixo x). À direita: crescimento percentual (eixo y) por vazio (eixo x)

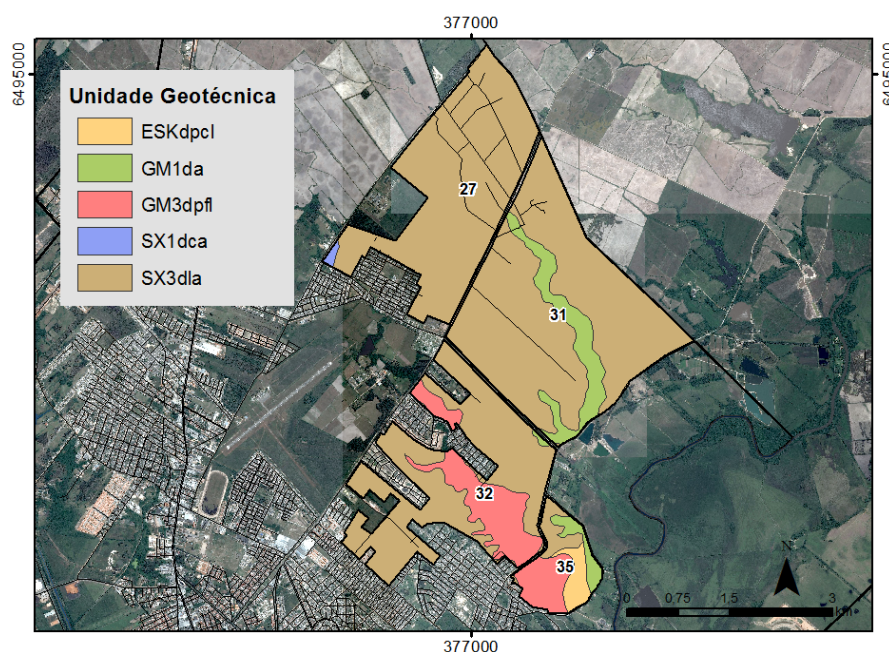


Figura 8.35: Unidades geotécnicas presentes nos vazios do grupo 2

Do mesmo modo que o grupo de vazios 1, os terrenos do grupo 2 são, em quase sua totalidade, terrenos altos, em forma de terraços, que se inclinam levemente (0,5 a 1°) em direção ao Arroio Pelotas. Igualmente, os terrenos possuem aptidão à urbanização predominantemente alta (61,11%), seguida por: aptidão muito alta (21,82%); aptidão baixa (10,28%); aptidão moderada (4,27%); e aptidão muito baixa (2,51%) (Figura 8.36). A alta aptidão à urbanização, neste grupo de vazios, deve-se, basicamente, aos fatores que determinaram o mesmo nível de aptidão para grupo 1 de vazios. Mas, diferente daquele, o grupo 2 possui um maior percentual de áreas com nível de aptidão moderada a muito baixa, devido à: (i) existência de áreas de extração de extração mineral (argila e areia); (ii) presença de canais naturais de drenagem; (iii) parte da área (vazio 35) estar situada em zona de baixa cota altimétrica (a planície de inundação do Arroio Pelotas).

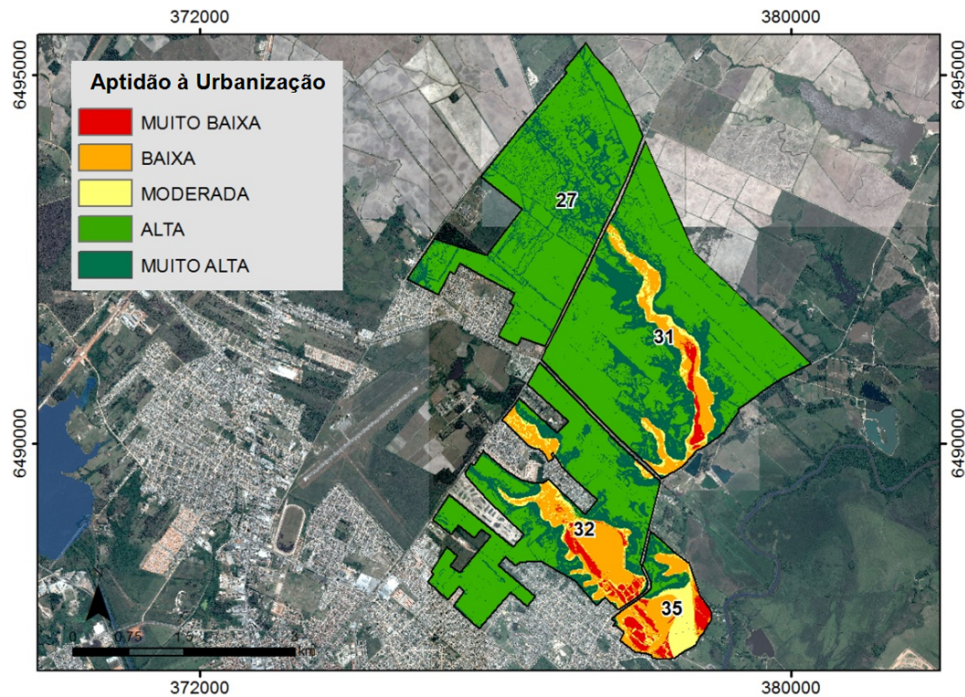


Figura 8.36: Níveis de aptidão à urbanização no grupo de vazios de nº 2

Salienta-se que, há restrições acerca de sua urbanização de parte desse grupo de vazios, muito embora a simulação do crescimento urbano indique que a projeção geral de ocupação futura não seja alta (Figura 8.37). Isto se deve, em síntese, à própria resistência à urbanização representada pelas características físicas dessas áreas (naturais ou impostas pela ação antrópica). A Figura 8.37 também mostra como as áreas de moderada, baixa e muito baixa aptidão à urbanização estão associadas as características do relevo e, por consequência, dos solos e do substratos geológicos, e as áreas de extração mineral.

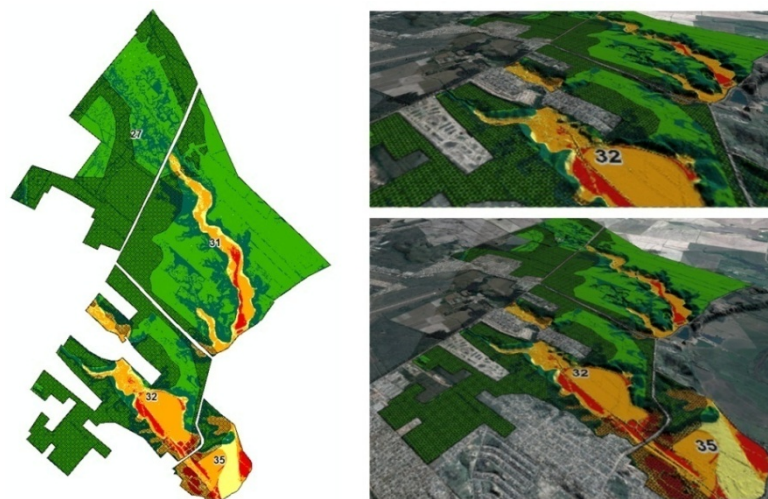


Figura 8.37: À esquerda: sobreposição da mancha de urbanização projetada sobre os níveis de aptidões à urbanização. À direita: visão 3D do relevo, mostrando como os níveis de aptidão se relacionam com a geomorfologia (abaixo) e com a extração mineral (acima). Exagero vertical= 7x.



No caso dos canais de drenagem, as áreas em seu entorno não devem ser ocupadas por constituírem APP, assim como as áreas de mata ciliar remanescentes, (dentro e fora das APPs) que devem ser preservadas. Já no que se refere às áreas de extração mineral, as mesmas somente podem ser ocupadas, após suas completas recuperações, seguindo as normas ambientais e as práticas de engenharia recomendáveis.

Os casos específicos do vazio 35 e de uma pequena parte do vazio 32 são os que, dentro desse grupo, apresentam maiores preocupações e cuidados, visto que a simulação do crescimento aponta para um certo nível de pressão de urbanização sobre áreas de baixa e muito baixa aptidão à urbanização (Figura 8.38). Nesta situação, a urbanização, sobre as áreas de aptidão baixa, somente pode ser permitida mediante a adoção de medidas preventivas que evitem inundação e da correta escolha e uso das estruturas de fundação das edificações, não sendo recomendado o incentivo institucional ao uso residencial de maior densidade. Não é recomendada a ocupação das áreas de aptidão muito baixa para edificações.

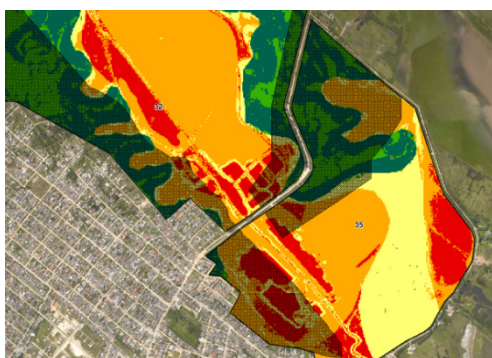


Figura 8.38: Sobreposição da mancha de urbanização projetada sobre os diferentes níveis de aptidões à urbanização no vazio 35 e em parte do vazio 32

A Tabela 8.15 apresenta os percentuais dos níveis de suscetibilidade a inundações e à erosão dos terrenos do grupo de vazios nº 2.

Tabela 8.15: Percentuais de ocorrência dos diferentes níveis de suscetibilidade nos terrenos pertencentes ao grupo 2 de vazios urbanos

NÍVEIS DE SUSCETIBILIDADE	% SUSCETÍVEL A INUNDAÇÕES	% SUSCETÍVEL À EROÇÃO
MUITO BAIXA	2,65%	14,24%
BAIXA	23,30%	70,24%
MODERADA	65,65%	13,47%
ALTA	6,07%	1,92%
MUITO ALTA	2,33%	0,12%

### 8.5.3.3 Grupo 3

O grupo 3 de vazios urbanos é formado por 4 vazios situados na porção mais central da zona urbana, cada um deles pertencente a uma Região Administrativa diferente: Centro (vazio 23); Três Vendas (vazio 22); Barragem (vazio 12); Fragata (vazio 17). Com uma área total de 3,18 km<sup>2</sup> e crescimento urbano projetado conforme os gráficos da Figura 8.39, o grupo de vazios é formado por terrenos das unidades geotécnicas: GM1 dpfl (74,29%); e SX3dla (25,71%) (Figura 8.40).

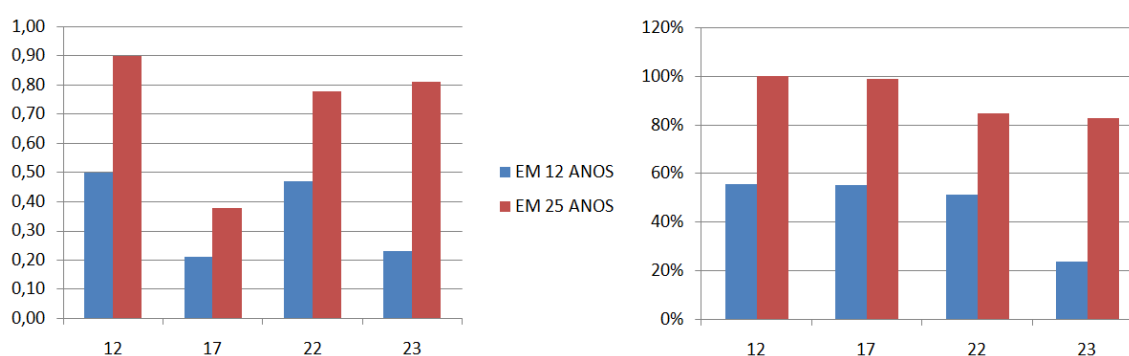


Figura 8.39: Gráficos do crescimento urbano nos vazios do grupo 3. À esquerda: crescimento em Km<sup>2</sup> (eixo y) por vazio (eixo x). À direita: crescimento percentual (eixo y) por vazio (eixo x)

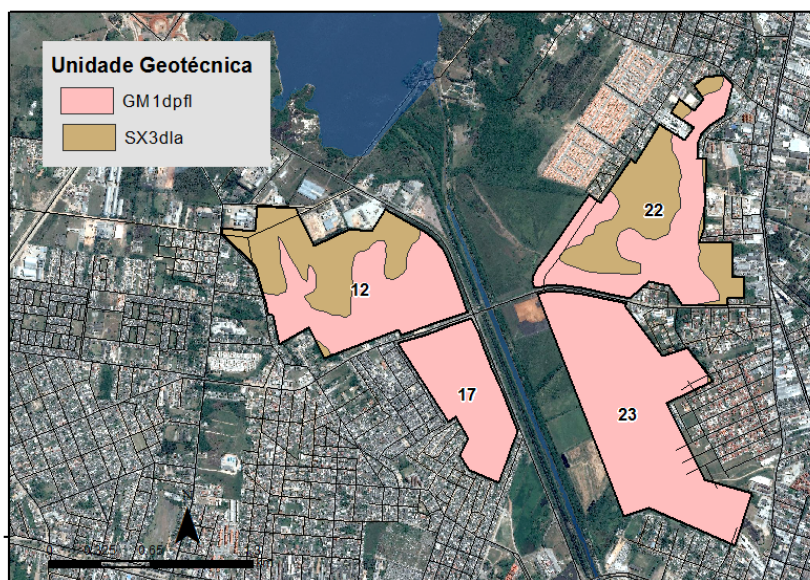


Figura 8.40: Unidades geotécnicas presentes nos vazios do grupo 3

Os terrenos do presente grupo de vazios estão, em sua maioria, situados em área de baixa cota altimétrica (2,00 a 3,30 metros) correspondente à planície de inundação do antigo Arroio Santa Bárbara, atual Canal Santa Bárbara. Uma porção menor de seus terrenos (25,71%) situa-se em cota mais elevada (14,30 a 15,50 metros), nos terraços resultantes do

retrabalho dos depósitos de leques aluviais em ambiente marinho e lagunar, os mesmos sobre os quais se assentam a quase totalidade dos terrenos do grupo 1 e a maior parte dos terrenos do grupo 2. A aptidão dos terrenos à urbanização é, em sua maioria, baixa (58,36%), seguida por: aptidão muito alta (21,83%); aptidão moderada (11,83%); aptidão alta (5,28%); e aptidão muito baixa (2,70%) (Figura 8.41).

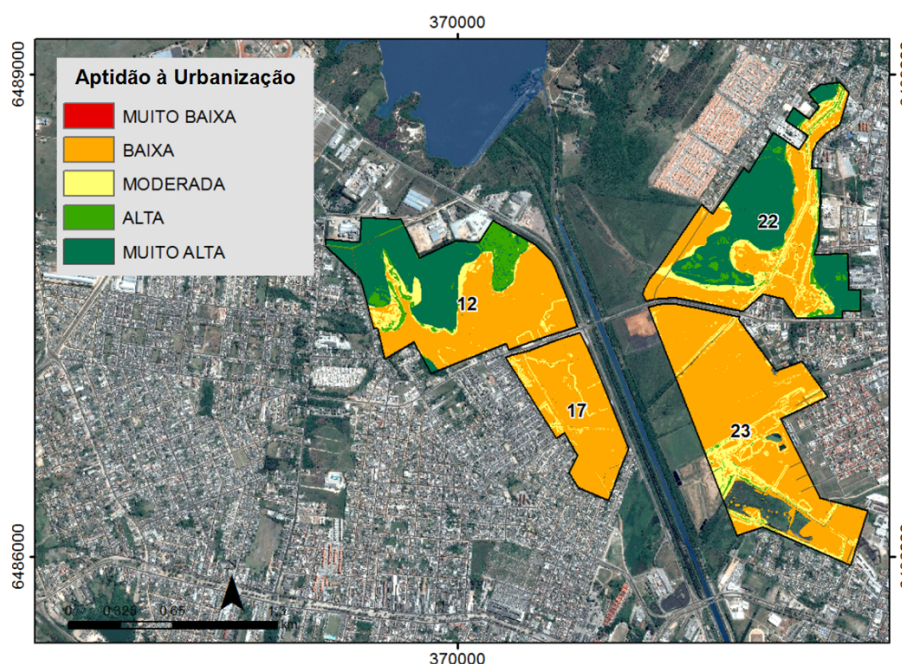


Figura 8.41: Níveis de aptidão à urbanização no grupo de vazios de nº 3

A baixa aptidão à urbanização, presente nas áreas baixas, deve-se essencialmente à: (i) alta e muito alta suscetibilidade a inundações e; (ii) baixa capacidade de suporte à fundações, devido à presença de solos moles em boa parte dos terrenos da unidade geotécnica GM1dpfl. Os terrenos da unidade geotécnica SX3dla, por sua vez, possuem de moderada a alta aptidão à urbanização, com predomínio da última. A Figura 8.42 mostra uma visão tridimensional do grupo, destacando as áreas da unidade GM1dpfl.

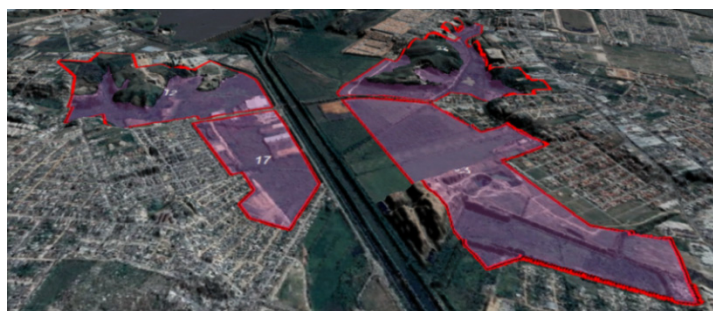


Figura 8.42: Visão tridimensional do grupo 3 de vazios urbanos, destacando-se (em roxo) as áreas pertencentes à unidade geotécnica GM1dpfl. Exagero vertical = 7x.

Devido à sua posição geográfica: próximo ao centro da cidade e cercado por áreas urbanas consolidadas e média densidade construída, a pressão do crescimento urbano projetado sobre o grupo de vazios é significativa, devendo, em média, 46% dos vazios estarem ocupados em 12 anos e 91% em 25 anos. Não havendo restrições e maiores preocupações acerca da urbanização das áreas sobre a unidade geotécnica SX3dla, a não ser as já colocadas para o grupo de vazio 1, todo o cuidado referente à urbanização da área repousa sobre a unidade GM1dpfl.

No que se refere à suscetibilidade da área à ocorrência de inundações, a mesma varia de alta a muito alta e só não resulta em uma aptidão à urbanização muito baixa em razão da presença do sistema de canais e bombas de recalques no local. Mas este, na ocorrência de 2004, que atingiu, aproximadamente, a cota 4,20 metros, mostrou-se frágil e incapaz de dar vazão ao volume de água que, à época, atingiu o local. Desta forma, a ocupação da área demanda a realização de obras estruturais locais como, por exemplo, o aumento da capacidade de recalque do sistema de bombeamento, a abertura de canais de drenagem, a construção de novos diques de proteção e de um ou mais reservatórios de retenção ou amortecimento do pico de deflúvio das grandes precipitações. Esta última medida, é necessária a partir do acréscimo de área impermeabilizada decorrente do aumento da urbanização. Ressalva-se que qualquer intervenção no local depende de estudos hidrológicos e físicos específicos, em escala adequada, que irão indicar a correção e extensão das obras estruturais.

Além das ações públicas necessárias, a liberação de empreendimentos imobiliários e de construções de maior porte, no local, deve ser precedida da exigência de estudos hidrológicos e, a partir destes, de soluções adequadas para drenagem local. O aterramento e elevação da cota dos terrenos em um metro e meio ou mais (dependendo do local) também deve ser exigida.

Já no que diz respeito à presença de argila orgânica muito mole a mole, da superfície até consideráveis profundidades, é indispensável, sob qualquer hipótese, a execução de prospecções locais para execução de obras civis. No caso das edificações, recomendá-se a extrapolação do número e densidades mínimas de sondagens estabelecidas na NBR 8036/83. A origem aluvial dos solos da unidade GM1dpfl determina uma grande heterogeneidade na sua capacidade de suporte, podendo haver queda ou aumento de resistência a profundidades e localizações variáveis. No caso de obras viárias, aterros, pavimentação de grandes áreas e outras, além de investigações *in situ*, precisa ser considerada a execução de ensaios laboratoriais, visto ser comum a ocorrência de

recalques diferenciais no local. A Tabela 8.16 apresenta os percentuais dos níveis de suscetibilidade a inundações e a erosão dos terrenos do grupo de vazios nº 2.

Tabela 8.16: Percentuais de ocorrência dos diferentes níveis de suscetibilidade nos terrenos pertencentes ao grupo 3 de vazios urbanos

NÍVEIS DE SUSCETIBILIDADE	% SUSCETÍVEL A INUNDAÇÕES	% SUSCETÍVEL À EROSÃO
MUITO BAIXA	6,31%	66,71%
BAIXA	29,76%	22,38%
MODERADA	18,94%	9,86%
ALTA	42,30%	1,00%
MUITO ALTA	2,69%	0,05%

#### 8.5.3.4 Grupo 4

Os vazios urbanos do grupo 4 situam-se na porção oeste da zona urbana na Região Administrativa da Barragem. Com uma área total de 24,49 km<sup>2</sup> e crescimento urbano projetado conforme os gráficos da Figura 8.43, o grupo de vazios é formado por terrenos das unidades geotécnicas: SX3dla (44,64%); SX1dca (34,36%); SX4da (11,87%); e GM1da (9,12%) (Figura 8.44).

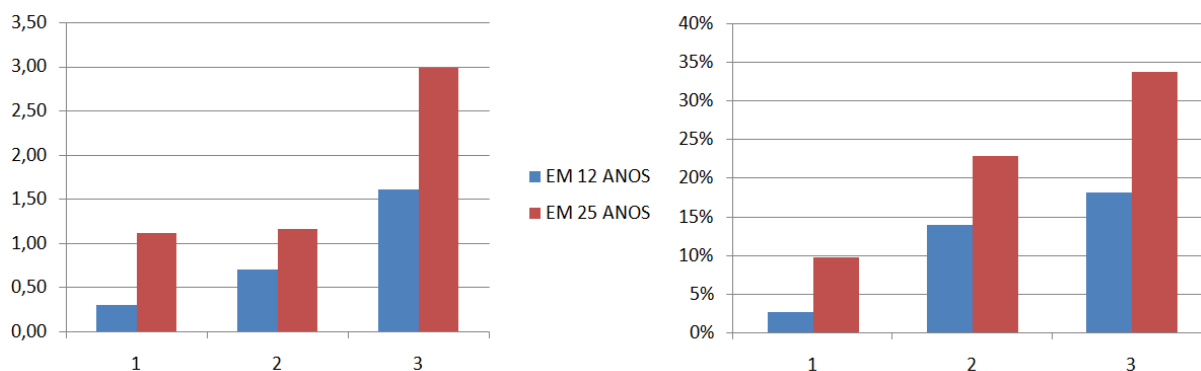


Figura 8.43: Gráficos do crescimento urbano nos vazios do grupo 4. A esquerda: crescimento em km<sup>2</sup> (eixo y) por vazio (eixo x). A direita: crescimento percentual (eixo y) por vazio (eixo x)

Os terrenos do grupo 4 estão, em sua maior parte, situados sobre os terraços aluviais altos e sobre a parte final dos depósitos de colúvio, onde as altitudes variam de 16 a 38 metros. Uma porção menor do grupo situa-se em áreas mais baixas de: depósitos fluviais, com altitudes variando de 2 a 9 metros; depósitos de terraço aluvial baixo, com altitudes variando de 9 a 16 metros. A aptidão dos terrenos à urbanização, em sua maior parte, é muito alta

(64,99%), seguida por: aptidão alta (19,29%); aptidão baixa (8,25%); e moderada (7,48%) (Figura 8.45). Não há terrenos com aptidão muito baixa nesse grupo de vazios.

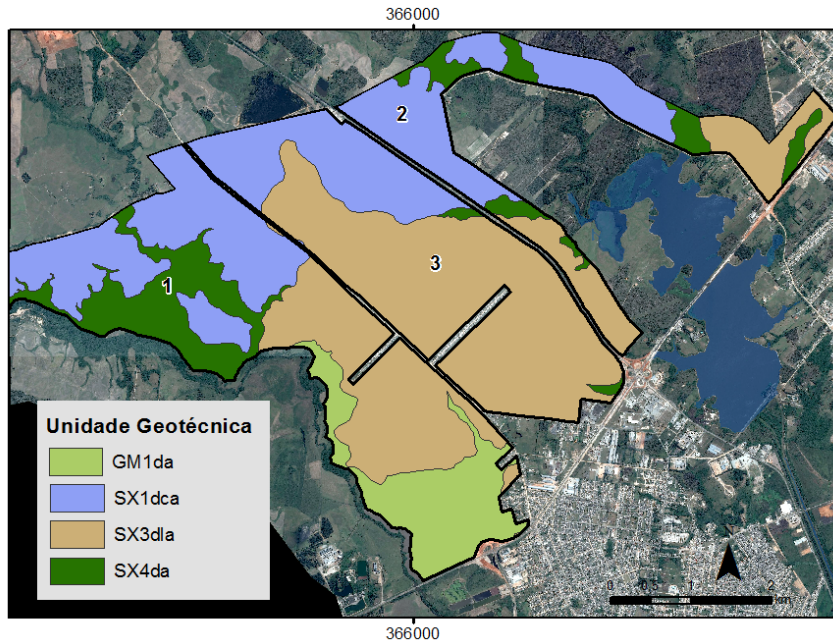


Figura 8.44: Unidades geotécnicas presentes nos vazios do grupo 4

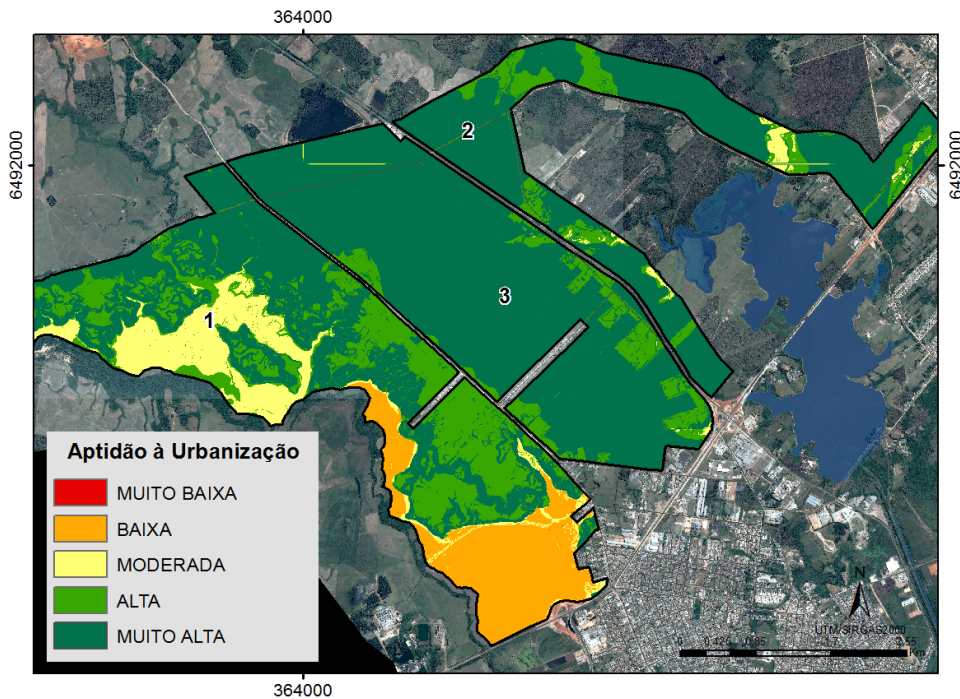


Figura 8.45: Níveis de aptidão à urbanização no grupo de vazios de nº 4

A prevalência de muito alta aptidão à urbanização, nesse grupo de vazios, se deve à: (i) preponderância de suscetibilidade baixa à ocorrência de inundações; (ii) baixa suscetibilidade à ocorrência de erosão (Tabela 8.17) e; (iii) bom suporte a fundações e

execução de obras civis em geral, incluindo redes subterrâneas de infraestrutura, em decorrência das características geotécnicas dos solos das unidades SX3dla e SX1dca.

Tabela 8.17: Percentuais de ocorrência dos diferentes níveis de suscetibilidade nos terrenos pertencentes ao grupo 4 de vazios urbanos

NÍVEIS DE SUSCETIBILIDADE	% SUSCETÍVEL A INUNDAÇÕES	% SUSCETÍVEL À EROSÃO
MUITO BAIXA	5,44%	9,54%
BAIXA	64,61%	72,87%
MODERADA	23,18%	16,73%
ALTA	6,76	0,87%
MUITO ALTA	0,00%	0,00%

Sendo assim, tomando-se o devido cuidado com a correta execução da rede de drenagem e de esgotamento sanitário, os terrenos pertencentes às unidades geotécnicas SX3dla e SX1dca podem ser plenamente urbanizados. Ressalta-se, no entanto, que apesar de não haver restrições de caráter geotécnico, a distância dos vazios ao centro urbano e o baixo percentual de infraestrutura e serviços do entorno não recomendam o incentivo institucional ao uso residencial de maior densidade, sendo a ocupação para o uso industrial a mais indicada.

No que se refere às áreas de baixa e muito baixa aptidão à urbanização, correspondentes às unidades geotécnicas GM1da e SX4da, estas apresentam suscetibilidade alta e muito alta a inundações. Soma-se a isso, o caráter periférico de grande parte delas, o que, independente das capacidades de suporte dos solos, não recomenda a sua conversão para uso urbano. Figura 8.46 mostra uma visão tridimensional do relevo, projeção do crescimento urbano para 25 anos e classes de aptidão à urbanização do grupo 4.

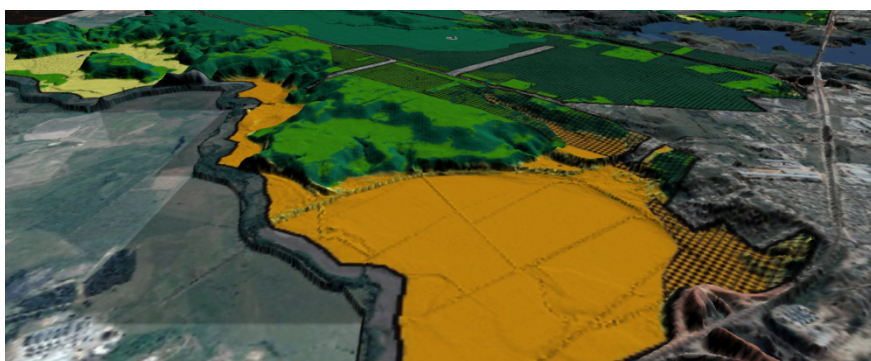


Figura 8.46: Visão tridimensional do relevo, projeção do crescimento urbano para 25 anos e classes de aptidão à urbanização do grupo 4. Exagero vertical = 7 x

### 8.5.3.5 Grupo 5

O grupo 5 de vazios urbanos é formado por 5 vazios entremeados à malha urbana e situados nas Regiões Administrativas do Fragata (vazios 9 e 11) e Barragem (vazios 5, 6 e 8). Com uma área total de 0,69 km<sup>2</sup> e crescimento urbano projetado conforme os gráficos da Figura 8.47, o grupo de vazios é formado por terrenos das unidades geotécnicas: SX3dla (90,89%); GM1dpfl (8,45%); e GM1da (0,66%) (Figura 8.48).

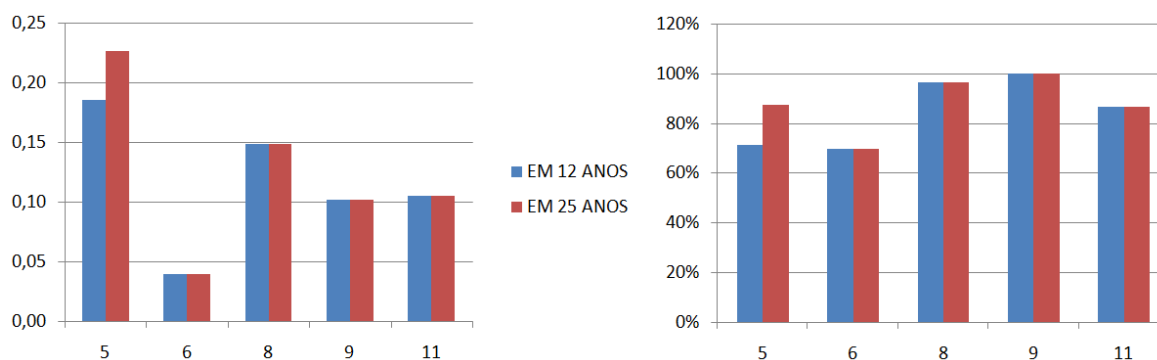


Figura 8.47: Gráficos do crescimento urbano nos vazios do grupo 5. À esquerda: crescimento em Km<sup>2</sup> (eixo y) por vazio (eixo x); À direita: crescimento percentual (eixo y) por vazio (eixo x)

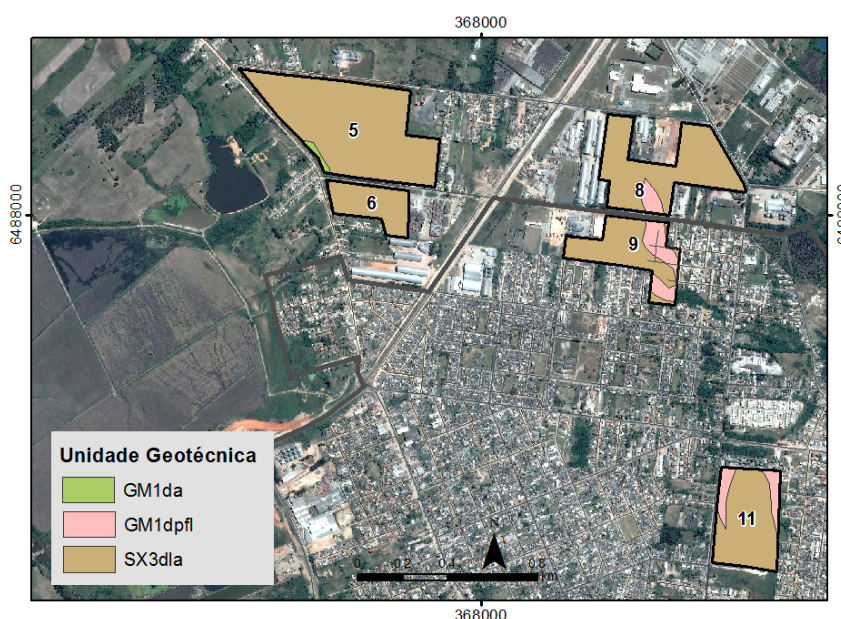


Figura 8.48: Unidades geotécnicas presentes nos vazios do grupo 5

Os terrenos do grupo 5 situam-se, em sua maior parte (90,89%), sobre os terraços aluviais alto e em menor porção sobre os depósitos de planície flúvio-lacustre. As altitudes predominantes variam de: 18 a 21 metros nos vazios 5 e 6; 15,50 a 17,70 nos vazios 8 e 9; e 13 a 15,30 no vazio 11. As menores altitudes, referentes às linhas de drenagem, são de 5 a 9 metros no vazio 11 e de 9,50 a 13 metros nos vazios 8 e 9. A aptidão dos terrenos à



urbanização, em sua maior parte, é muito alta (73,50%), seguida por: aptidão alta (17,64%); aptidão moderada (6,82%); e baixa (2,03%) (Figura 8.49). Não há terrenos com aptidão muito baixa nesse grupo de vazios.

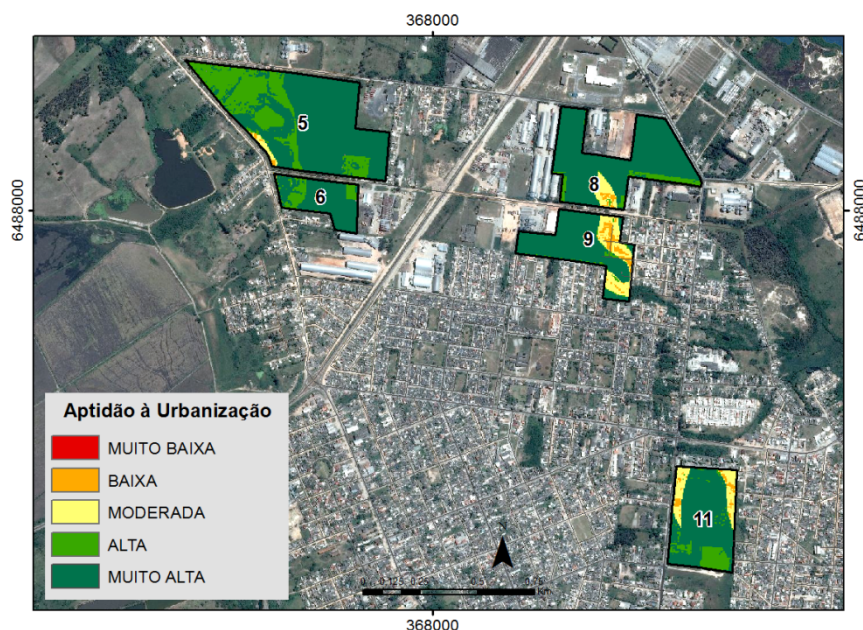


Figura 8.49: Níveis de aptidão à urbanização no grupo de vazios de nº 5

A alta e muito alta aptidão à urbanização, presente em 91,15% do grupo de vazios, resulta da: (i) preponderância de suscetibilidade baixa à ocorrência de inundações; (ii) baixa suscetibilidade à ocorrência de erosão (Tabela 8.18) e; (iii) bom suporte a fundações e execução de obras civis em geral, incluindo redes subterrâneas de infraestrutura, em decorrência das características geotécnicas dos solos das unidades SX3dla.

Tabela 8.18: Percentuais de ocorrência dos diferentes níveis de suscetibilidade nos terrenos pertencentes ao grupo 5 de vazios urbanos

NÍVEIS DE SUSCETIBILIDADE	% SUSCETÍVEL A INUNDAÇÕES	% SUSCETÍVEL À EROSÃO
MUITO BAIXA	2,59%	5,87%
BAIXA	78,07%	82,21%
MODERADA	19,34%	11,65%
ALTA	0,00%	0,27%
MUITO ALTA	0,00%	0,00%

Neste sentido, com os devidos cuidados em relação à execução da rede de drenagem e ao esgotamento sanitário, os terrenos de alta aptidão do grupo de vazios nº 5 são plenamente aptos à urbanização. Os terrenos de moderada aptidão dos vazios urbanos 5 e 6, por sua vez, correspondem a uma micro relevo levemente côncavo que pode formar um pequeno

olho d'água e que, para ser ocupado, deve sofrer aterramento. Por fim, os terrenos de média e baixa aptidão nos vazios 8, 9 e 11, correspondem a linhas naturais de drenagem que, necessariamente, devem ser preservadas ou substituídas por sistema artificial devidamente dimensionado. Assim como para todos os grupos de vazios formados por Planossolos Háplicos (SX1, SX3, SX4 e SX5), ressaltam-se os cuidados indispensáveis em relação à não exposição dos solos do horizonte B, em razão da predisposição à ocorrência de processos erosivos.

#### 8.5.3.6 Grupo 6

O grupo de vazios urbanos nº 6 é formado por 4 vazios situados a sudoeste da zona urbana, na Região Administrativa do Fragata. Com uma área total de 1,34 km<sup>2</sup> e crescimento urbano projetado conforme os gráficos da Figura 8.50, o grupo de vazios é formado por terrenos das unidades geotécnicas: GM1da (48,22%); ESKdpcl (41,12%); SX3dla (10,26%) e GM1dpfl (0,40%) (Figura 8.51).

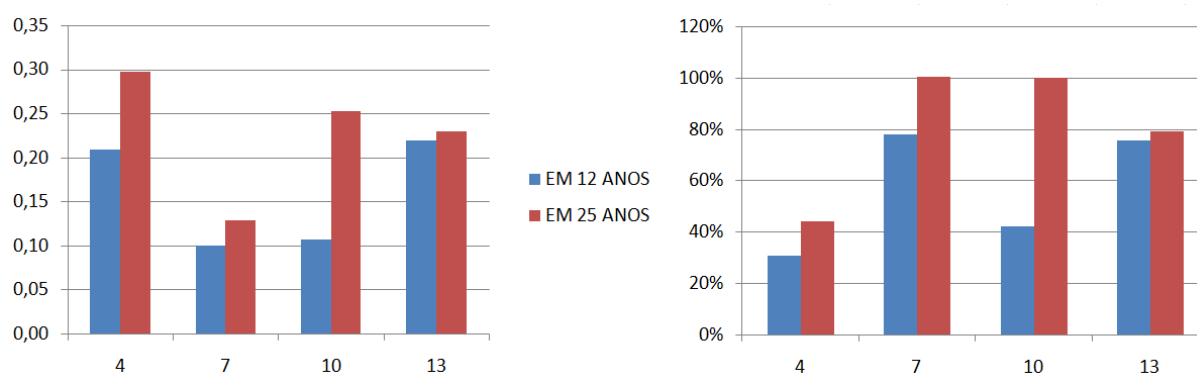


Figura 8.50: Gráficos do crescimento urbano nos vazios do grupo 6. À esquerda: crescimento em Km<sup>2</sup> (eixo y) por vazio (eixo x). À direita: crescimento percentual (eixo y) por vazio (eixo x)

Os terrenos do grupo 6 situam-se sobre as unidades de relevo dos depósitos de cristas e praias lagunares (maior parte) e dos depósitos fluviais (menor parte). Trata-se de áreas baixas cujas altitudes predominantes variam de 0,30 a 3,90 metros. A maior parte da aptidão à urbanização deste grupo de vazios é muito baixa (42,40%) e baixa (29,12%), seguida de aptidão moderada (22,39%); aptidão alta (3,39%); e muito alta (2,70%) (Figura 8.52).

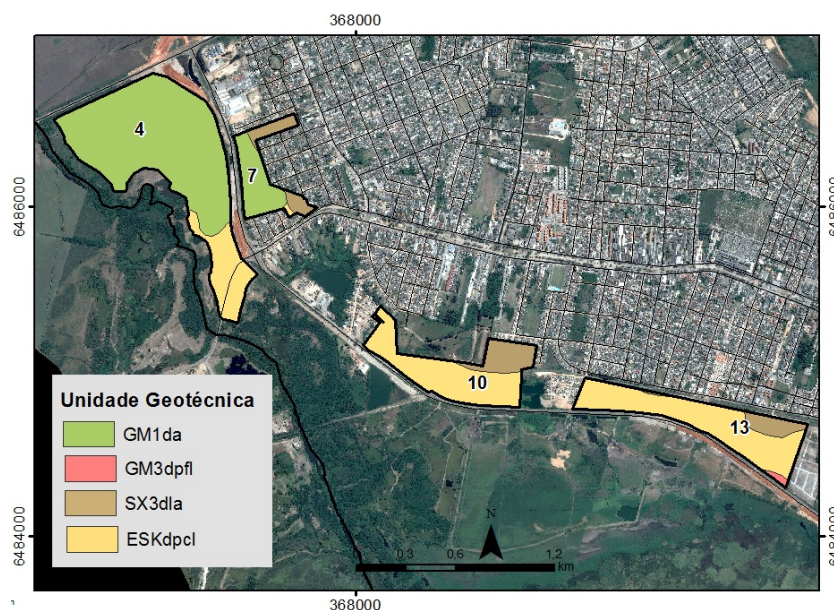


Figura 8.51: Unidades geotécnicas presentes nos vazios do grupo 6

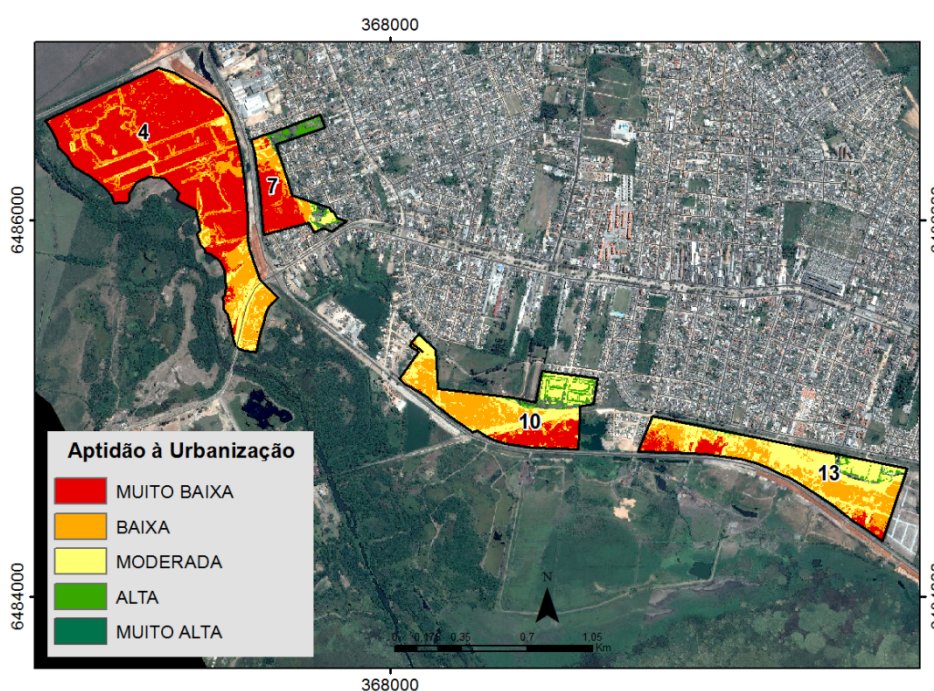


Figura 8.52: Níveis de aptidão à urbanização no grupo de vazios de nº 6

A preeminência de aptidão à urbanização muito baixa, nesse grupo de vazios, resulta, basicamente, da ocorrência, na maior parte dos vazios, de muito alta e alta suscetibilidade a inundações (Tabela 8.19), visto tratar-se de áreas baixas que não contam com nenhum sistema específico de proteção contra cheias. A drenagem é feita por gravidade, em direção às áreas baixas e sazonalmente alagadas a sul da BR 392, que as separa dos vazios de nº 7, 10 e 13. Tais áreas, que atuam como corpos de amortecimento e drenagem das águas das chuvas, em eventos de maior magnitude, devido à elevação do nível d'água, podem

conformarem-se em elementos represadores e impedirem a drenagem daqueles vazios. O vazio de nº 4, por sua vez, faz parte dessas áreas de banhados.

Tabela 8.19: Percentuais de ocorrência dos diferentes níveis de suscetibilidade nos terrenos pertencentes ao grupo 6 de vazios urbanos

NÍVEIS DE SUSCETIBILIDADE	% SUSCETÍVEL A INUNDAÇÕES	% SUSCETÍVEL À EROSIÃO
MUITO BAIXA	0,23%	45,22%
BAIXA	9,14%	37,69%
MODERADA	20,18%	14,69%
ALTA	28,27%	2,24%
MUITO ALTA	42,18%	0,17%

A pressão de urbanização sobre as áreas dos vazios 7, 10 e 13 mostra-se significativa, sendo projetado um crescimento de quase 80% nos vazios 7 e 13, em 12 anos. O vazio 7 é cercado de ocupações urbanas, e o vazio 13 já é ocupado, em parte, por algumas empresas comerciais e industriais. A localização desses vazios, à margem da BR 392, e no limite sul da urbanização do Fragata, constitui-se em um forte fator de atração, tanto para atividades industriais e comerciais, como para a habitacional. Desta forma, a despeito da muito baixa e baixa aptidão à urbanização que prevalece nas áreas desse grupo de vazios, impedir as suas ocupações pelo uso urbano do solo é economicamente inviável, muito embora seu custo de urbanização seja alto. A municipalidade, deve, isto sim, limitar o uso residencial e estabelecer exigências para os usos comercial e industrial, tais como: aterramento em pelo menos 2,5 metros e apresentação de estudo e solução para a drenagem local.

No que se refere ao vazio urbano de nº 4, apesar de já haver uma pequena fração de sua área ocupada, este desempenha um papel fundamental como área de recepção, amortecimento e drenagem das águas pluviais da porção sudeste da Região Administrativa do Fragata. Sendo assim, não deve ser permitida a sua ocupação pelo uso urbano do solo. A Figura 8.53 mostra uma visão tridimensional do relevo, níveis de aptidão e crescimento urbano, simulado para os vazios urbanos do grupo 6.

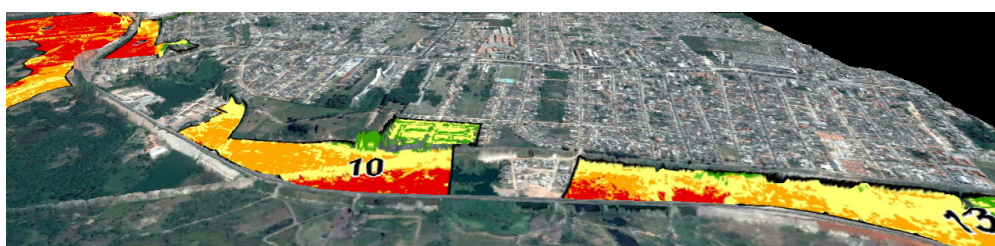


Figura 8.53: Visão tridimensional do relevo e classes de aptidão à urbanização do grupo de vazios 6. Exagero vertical = 7 vezes

### 8.5.3.7 Grupo 7

O grupo de vazios urbanos nº 7 é formado por 4 vazios situados na parte sudeste da zona urbana, nas Regiões Administrativas do São Gonçalo (vazios 29, 30 e 34) e do Areal (vazio 33). Com uma área total de 3,12 km<sup>2</sup>, e crescimento urbano projetado conforme os gráficos da Figura 8.54, o grupo de vazios é formado por terrenos das unidades geotécnicas GM3dpfl (98,43%) e SX3dla (1,57%) (Figura 8.55).

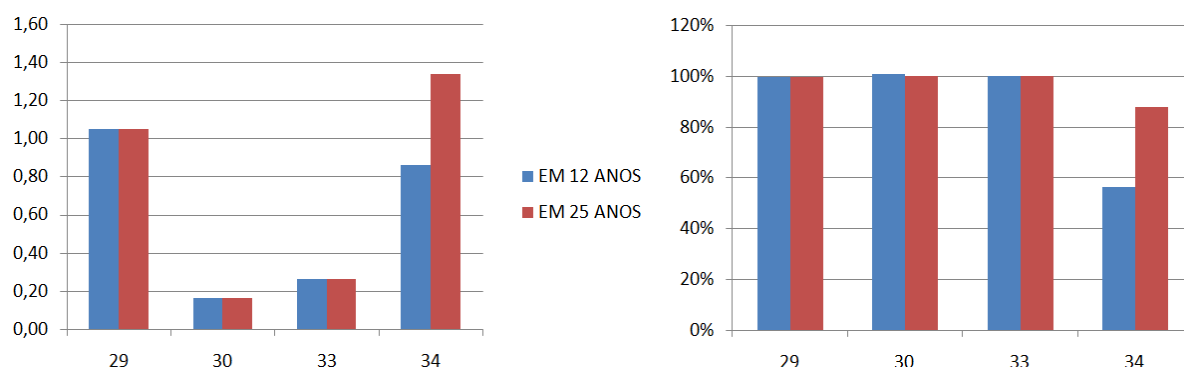


Figura 8.54: Gráficos do crescimento urbano nos vazios do grupo 7. À esquerda: crescimento em Km<sup>2</sup> (eixo y) por vazio (eixo x). À direita: crescimento percentual (eixo y) por vazio (eixo x)

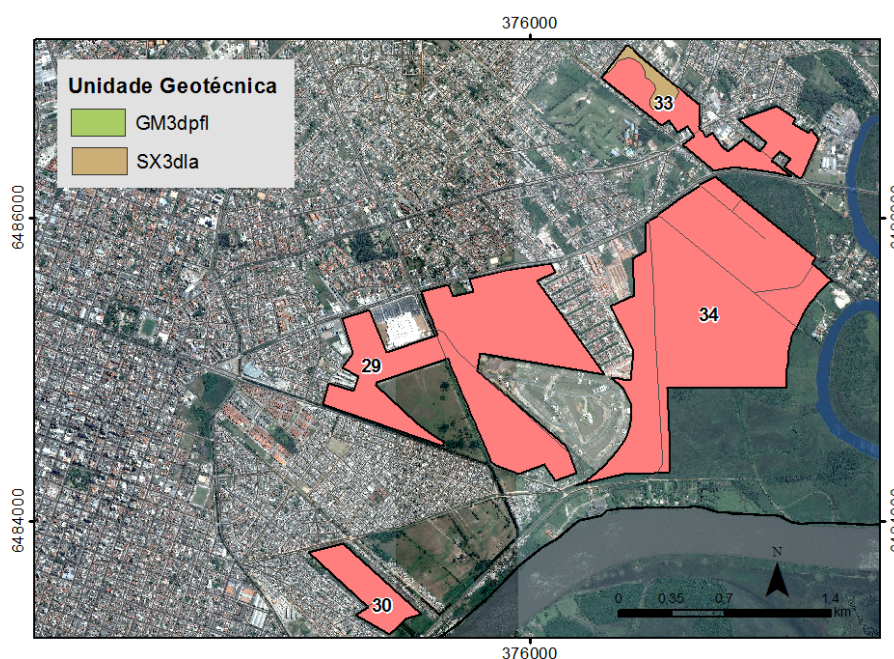


Figura 8.55: Unidades geotécnicas presentes nos vazios do grupo 7

A quase totalidade dos terrenos do grupo 7 situa-se sobre a unidade geomorfológica dos depósitos de planície flúvio-lacustre, os quais conformam a parte principal da planície de inundação do Canal São Gonçalo. São terrenos de baixa altitude (0 a 5 metros) com pouco ou nenhum meso relevo. O grupo de vazios possui a predominância das aptidões

distribuídas entre muito baixa (41,35%), baixa (23,45%) e moderada (30,69%), seguidas por aptidão alta (3,63%) e muito alta (0,88%) (Figura 8.56).

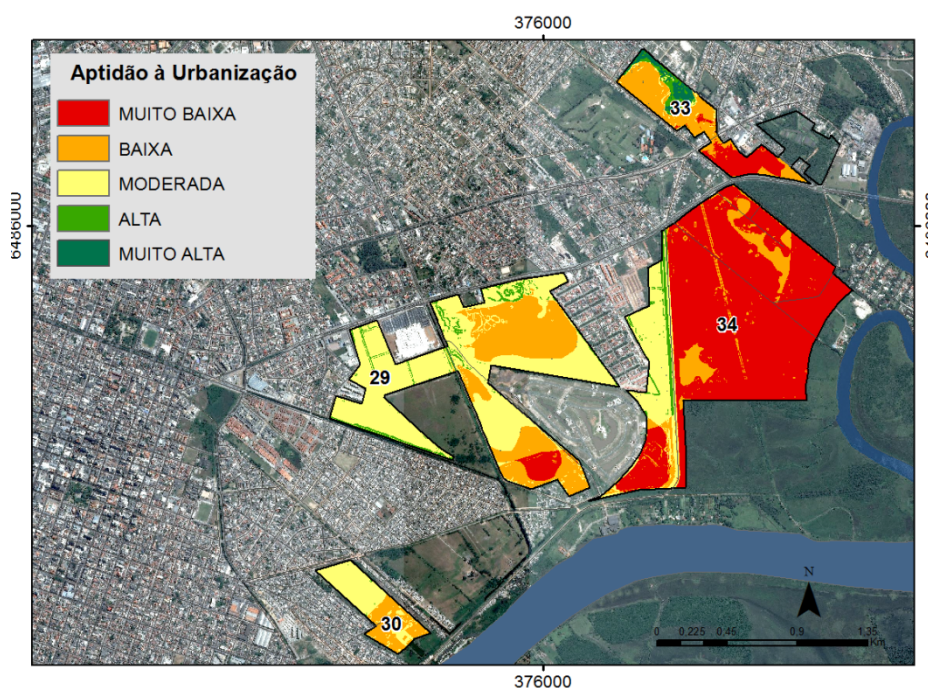


Figura 8.56: Níveis de aptidão à urbanização no grupo de vazios de nº 7

O grupo de vazios nº 7, por força de sua proximidade do centro histórico e comercial da cidade, está sujeito a uma grande pressão do crescimento urbano. A simulação do crescimento indica uma ocupação de 100% dos vazios 29, 30 e 33, em até 12 anos. O grupo abrange terrenos naturalmente inundáveis, mas que, em parte (vazios 29 e 30), estão protegidos pelo sistema contra inundações. Desta forma, apesar de possuírem suscetibilidade natural alta e muito alta a inundações, os vazios 29 e 30 possuem aptidão preponderantemente moderada. A classe de aptidão muito baixa fica quase totalmente restrita ao vazio 34 e a de aptidão baixa concentrada no vazio 33. A Tabela 8.20 apresenta os percentuais dos níveis de suscetibilidade a inundações e à erosão dos terrenos desse grupo de vazios.

Tabela 8.20: Percentuais de ocorrência dos diferentes níveis de suscetibilidade nos terrenos pertencentes ao grupo 7 de vazios urbanos

NÍVEIS DE SUSCETIBILIDADE	% SUSCETÍVEL A INUNDAÇÕES	% SUSCETÍVEL À EROSÃO
MUITO BAIXA	0,17%	93,63%
BAIXA	5,06%	5,87%
MODERADA	8,70%	0,46%
ALTA	38,48%	0,03%
MUITO ALTA	47,59%	0,00%

A unidade geotécnica GM3dpfl, que forma a quase totalidade do vazio, apresenta variação nas condições de suporte a fundações, por força da presença de argila de consistência mole a muito mole, nas proximidades do Arroio Pelotas e do Canal Santa Bárbara. A Figura 8.57 ilustra a queda de resistência do solos, através dos valores de Nspt de 03 sondagens da unidade GM3dpfl: quanto maior é a distância da unidade SX3dla e maior a aproximação do Canal São Gonçalo, menor é a resistência à penetração do solo com a profundidade. Cabe ressaltar que devido à formação geológica desses solos, há uma grande heterogeneidade na sua textura e capacidade de suporte, podendo haver queda ou aumento de resistência a profundidades e localizações variáveis dentro da unidade.

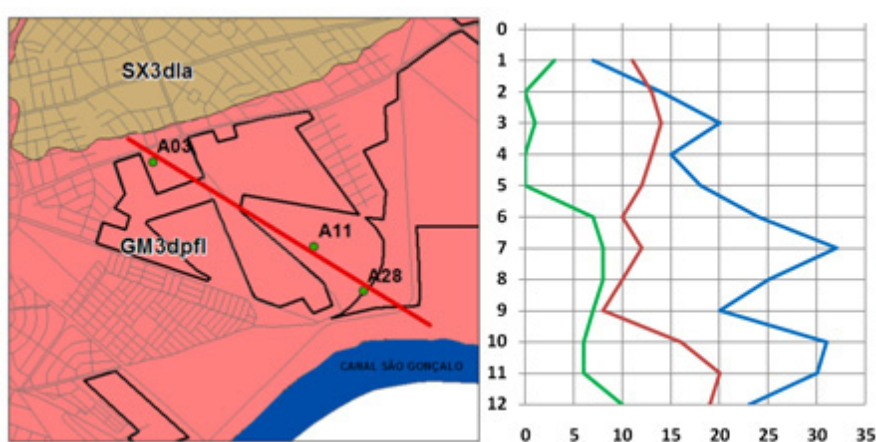


Figura 8.57: Variação da resistência dos solos da unidade geotécnica GM3dpfl. À esquerda: mapa mostrando a localização das sondagens A03, A11 e A28 em relação as unidade geotécnicas e a parte dos vazios do grupo 7. À direita: gráfico com a variação dos valores de Nspt (eixo x) com a profundidade (eixo y)

As condições de urbanização dos vazios do grupo 7 são variáveis e dependentes do nível de aptidão de cada área. Nas áreas de aptidão moderada e baixa, a urbanização pode se dar mediante os devidos cuidados com a drenagem, o que inclui a elevação da cotas dos terrenos em, pelo menos, 1,50 m. Para a aprovação de projetos de parcelamento do solo de maior porte nos vazios 29 e 30, deve ser exigida a previsão reservatório(s) de detenção ou amortecimento do pico de deflúvio das precipitações, de modo a aliviar o sistema de canais e bombas que recalcam as águas das chuvas para além do dique de proteção.

O vazio urbano 33 está situado em uma área de drenagem natural que, a partir de antigos canais naturais, conduz parte das águas pluviais que atingem os terraços aluviais altos para o Arroio Pelotas. Com a urbanização, os canais naturais foram substituídos por artificiais, com desvio do curso. Sendo assim, a ocupação do vazio 33 pelo uso urbano, demanda, além da adoção de medidas adequadas à drenagem local, ainda a verificação da capacidade e das condições de drenagem dos canais que deságuam no Arroio Pelotas e/ou

abertura de novos canais. Por fim, o vazio 34 possui muito baixa aptidão à urbanização. Trata-se de uma área baixa que por ocasião de grandes precipitações, como a de 2015, fica totalmente inundada (Figura 8.58), desempenhando um importante papel na retenção e infiltração das águas das chuvas. Portanto, a ocupação desta área com usos urbanos de maior densidade deve ser coibida. No entanto, devido à sua localização geográfica (próxima ao Canal São Gonçalo, ao Arroio Pelotas e não muito distante do centro da cidade) o vazio é propício à adoção de usos de muito baixa densidade (sítios de lazer, parques, etc.) e de soluções de drenagem que permitam a manutenção dos atuais níveis de retenção e infiltração das águas pluviais.



Figura 8.58: Imagem fotográfica da área do vazio 34, ao final do pico da inundação de 2015 (PMPel, 2015)

Cabe alertar que a segurança contra a inundação dos vazios 29 e 30 é totalmente dependente do correto dimensionamento e funcionamento do sistema de diques, canais e bombas de recalques que protegem a área. Sendo assim, a adequação de suas capacidades de drenagem, bem como a melhoria de suas condições de funcionamento, precedem a liberação de empreendimentos de maior porte na área.

Assim como para o grupo de vazios nº 3, por força da presença de argila orgânica de baixa consistência em parte da área do grupo de vazios 7, mostra-se indispensável a execução de prospecções locais para execução de obras civis. Inclusive, recomenda-se a extrapolação do número e densidades mínimas de sondagens estabelecidas na NBR 8036/83.

#### 8.5.3.8 Grupo 8

O grupo 8 dos vazios urbanos é formado por 8 vazios situados na porção leste da zona urbana, na Região Administrativa do Laranjal. Com uma área total de 4,65 Km<sup>2</sup> e crescimento urbano projetado conforme os gráficos da Figura 8.59, o grupo de vazios é formado por terrenos das unidades geotécnicas PVAdbp2 (72,96%), SX5dbp2 (14,53%), RQde (6,10%), ESKdpcl (4,55%), GM1da (1,00%) e GM3dpcl (0,86%) (Figura 8.60) .



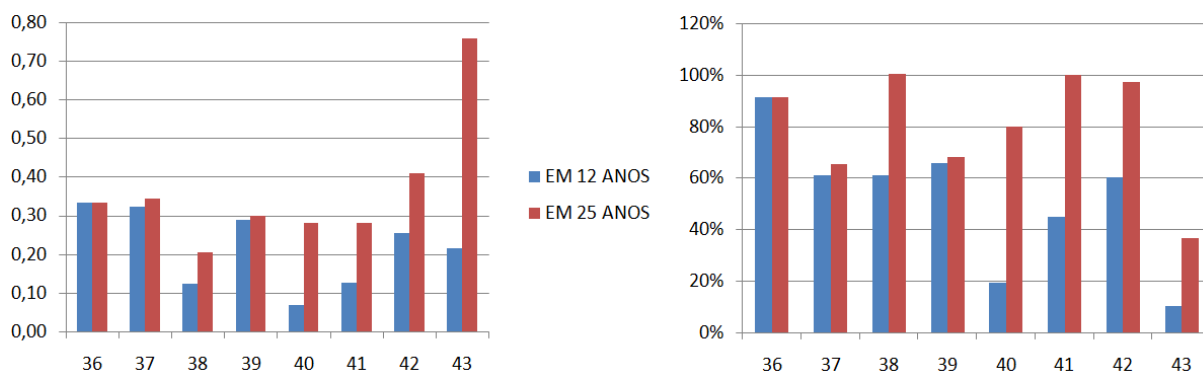


Figura 8.59: Gráficos do crescimento urbano nos vazios do grupo 8. À esquerda: crescimento em Km<sup>2</sup> (eixo y) por vazio (eixo x); À direita: crescimento percentual (eixo y) por vazio (eixo x)

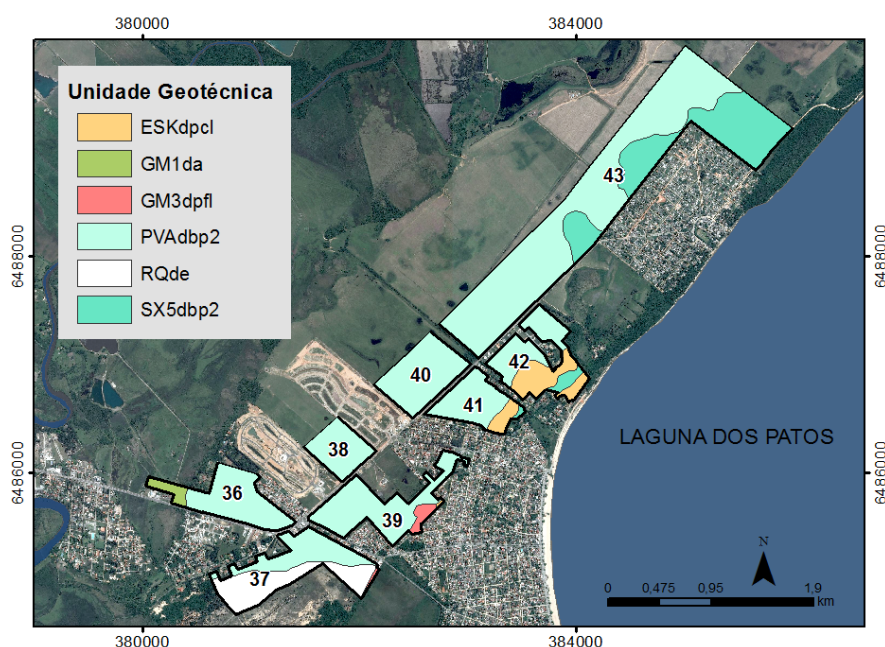


Figura 8.60: Unidades geotécnicas presentes nos vazios do grupo 8

A maior parte dos terrenos do grupo 6 situa-se sobre a unidade geomorfológica dos depósitos de planície lagunar alta, a qual possui um relevo plano, com alguma irregularidade em forma de depressões que formam olhos d'água e de dunas antigas não totalmente aplainadas. Outras partes menores ficam sobre os depósitos de cristas e praias lagunares e sobre os depósitos eólicos. Na planície lagunar alta, as altitudes variam de 5,50 a 19 metros, nos depósitos de cristas, variam de 0 a 9 metros e nos depósitos eólicos, de 6 a 13 metros. A aptidão predominante desse grupo de vazios é alta (73,29%), seguida por aptidão muito alta (17,32%), moderada (8,01%), baixa (1,10%) e muito baixa (0,28%) (Figura 8.61).

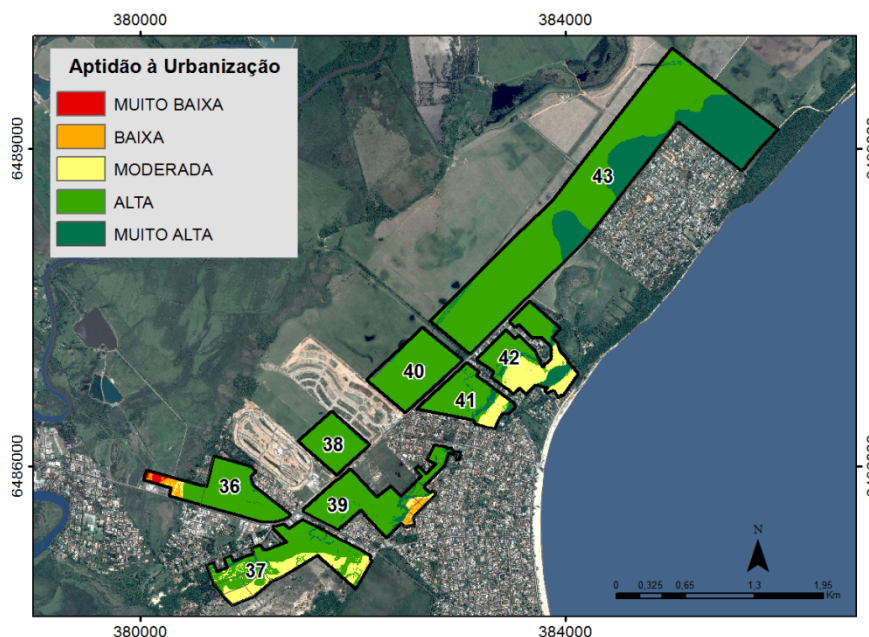


Figura 8.61: Níveis de aptidão à urbanização no grupo de vazios de nº 8

A preponderância da classe de aptidão à urbanização moderada no grupo de vazio 8, resulta, principalmente, da ocorrência em, aproximadamente, 94% da área, de suscetibilidade baixa a inundações e baixa suscetibilidade à erosão (embora as erosões tenham peso bem menor na composição das aptidões) (Tabela 8.21). A capacidade de suporte dos terrenos nas unidades geotécnicas PVAdbp2 e SX5dbp2 à edificações é boa sendo, como já visto, viável a construção de edificações de até 2 pavimentos (tipologia usual da região administrativa) com emprego de fundações superficiais. A unidade geotécnica RQde, que compõe parte do vazio 37, possui solos de alta suscetibilidade à erosão eólica e hídrica, mas, devido à alta capacidade de infiltração dos seus solos, baixa suscetibilidade a inundações. Na parte da unidade que abrange o vazio 37, em geral, a resistência dos terrenos é boa, mas, devido à formação geológica dos solos com alternância de camadas argilosas e arenosas, há a possibilidade de redução em locais determinados e a profundidades variáveis.

Tabela 8.21: Percentuais de ocorrência dos diferentes níveis de suscetibilidade nos terrenos pertencentes ao grupo 8 de vazios urbanos

NÍVEIS DE SUSCETIBILIDADE	% SUSCETÍVEL A INUNDAÇÕES	% SUSCETÍVEL À EROSÃO
MUITO BAIXA	4,24%	1,02%
BAIXA	93,55%	85,65%
MODERADA	1,87%	9,20%
ALTA	0,06%	0,78%
MUITO ALTA	0,28%	3,34%

No que se refere as suas características geotécnicas e físicas os terrenos deste grupo de vazios urbanos são aptos à urbanização mediante a adoção de soluções adequadas para a drenagem pluvial e o esgotamento sanitários, bem como cuidados relativos a erosão laminar, com a rápida recomposição da camada vegetal dos terrenos decaídos por terraplanagem. A maior parte da drenagem pluvial local se dá por infiltração das águas da chuva no solo e/ou pelo escoamento superficial em direção a algumas linhas de confluência e desta para a Laguna dos Patos ou diretamente a Laguna. Existe um único canal pluvial na área dos vazios, que conduz para o Canal São Gonçalo. Desta forma o sistema de drenagem local é deficiente e fica particularmente comprometido quando da elevação do nível da Laguna e do consequente represamento das águas pluviais. Sendo assim, para a efetiva urbanização da área é necessário investimentos públicos na drenagem urbana, como a abertura de novos canais e melhoria do sistema de bombeamento, já que muitas das sub-bacias locais, nos trechos à jusante, não possuem declividade suficiente para o escoamento por gravidade.

A ampliação e melhoria do sistema de coleta e tratamento de esgoto também é imprescindível posto que, nas áreas mais baixas, a superficialidade do nível freático é responsável pela contaminação deste e das águas da Laguna pelas fossas sépticas e sumidouros comumente utilizados na região.

#### 8.5.4 Hierarquização dos vazios urbanos para futuro mapeamento em escala de detalhe

Embora o mapeamento em escala de detalhe, última etapa do método progressivo, não faça parte deste trabalho, a simulação e análise do crescimento urbano somada ao mapeamento da aptidão à urbanização permite indicar uma ordem preferencial para mapeamento futuro nesta escala. Para tanto, foram definidos seis critérios de análise: (i) áreas de crescimento urbano projetado para os vazios no tempos de 12 anos e 25 anos; (ii) percentuais de crescimento urbano projetados para os vazios nos mesmos tempo; (iii) percentuais do diferentes níveis de aptidão à urbanização presentes nos vazios; (iv) distância do centro geométrico de cada vazio até um ponto de alta centralidade na malha urbana (ponto de referência definido). Os valores de cada um dos parâmetros escolhidos (Tabela 8.24), passaram por uma normalização linear para o intervalo de 0 a 1, de forma a permitir uma composição dos mesmos. Logo após, aplicando-se o método AHP foram definidos os percentuais de contribuição de cada um dos parâmetros na formação da ordem preferencial, conforme segue (Tabela 8.22 e Tabela 8.23).

Tabela 8.22: Matriz de comparação pareada entre os parâmetros que compõem o cálculo do índice de preferência de mapeamento dos vazios urbanos

VARIAVEL	AC25	AC12	PCU25	PCU12	DI	APT
ÁREA PROJ. DE CRESC. EM 25 ANOS (AC25)	1,00	1/2	1/5	1/6	1/4	1/8
ÁREA PROJ. DE CRESC. EM 12 ANOS (AC12)	2,00	1,00	1/5	1/4	1/3	1/7
PERC. PROJ. DE CRESC EM 25 ANOS (PCU25)	5,00	5,00	1,00	1/2	3,00	1/4
PERC. PROJ. DE CRESC EM 12 ANOS (PCU12)	6,00	4,00	2,00	1,00	3,00	1/2
DISTÂNCIA (DI)	4,00	3,00	1/3	1/3	1,00	1/5
NÍVEIS DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO (APT)	8,00	7,00	4,00	2,00	5,00	1,00

A aptidão à urbanização foi definida como o critério de maior preponderância, seguido pelos percentuais de crescimento de menor e maior prazo (relação entre a área de crescimento projetado e a área do vazios urbano). Como fator intermediário, ficou posicionada a distância do vazio até o ponto de alta centralidade escolhido. Por último, como parâmetros de menor contribuição relativa, ficaram as áreas absolutas de crescimento por vazio, nos prazos de 12 e 25 anos.

Tabela 8.23: Cálculo dos pesos de cada um dos parâmetros que compõem o cálculo do índice de preferência de mapeamento dos vazios urbanos

PI	AC25	AC12	PCU25	PCU12	DI	APT	PESOS (Wi)	% Wi
A. PROJ. CRESC 25 ANOS (AC25)	0,04	0,02	0,03	0,04	0,02	0,06	0,0340	3,40%
A. PROJ. CRESC 25 ANOS (AC25)	0,08	0,05	0,03	0,06	0,03	0,06	0,0502	5,02%
P. PROJ. CRESC. 25 ANOS (PCU25)	0,19	0,24	0,13	0,12	0,24	0,11	0,1724	17,24%
P. PROJ. CRESC. 25 ANOS (PCU25)	0,23	0,20	0,26	0,24	0,24	0,23	0,2306	23,06%
DISTÂNCIA (DI)	0,15	0,15	0,04	0,08	0,08	0,09	0,0986	9,86%
NÍVEIS DE APTIDÃO (APT)	0,31	0,34	0,52	0,47	0,40	0,45	0,4142	41,42%

A Razão de Consistência para os valores atribuídos foi calculada em 0,04, ficando, portanto, abaixo do limite de admissibilidade de 0,10. Para o uso integrado dos critérios, foi definida a Equação 8.2.

$$IP = [(0,0340 \times AC25) + (0,0502 \times AC12) + (0,1724 \times PCU25) + (0,2306 \times PCU12) + (0,4142 \times APT) - (0,0986 \times DI)]$$

Equação 8.2: Índice de Preferência (IP), onde: AC25 e AC12 são o crescimento de área urbanizada no vazio nos prazos, respectivos, de 25 e 12 anos; PCU25 e PCU 12 são o crescimento percentual de área urbanizada no vazio (25 e 12 anos); DI é a distância do centro do vazio a um ponto de referência da malha

ubana e; APT é a composição dos diferentes níveis de aptidão à urbanização presentes no vazio

O valor do parâmetro de aptidão (APT) foi composto pelo percentual de cada um dos cinco níveis de aptidão no vazio, multiplicados pelo peso da aptidão (de 1 a 5, conforme já visto), de forma que quanto menor é a aptidão à urbanização do vazio, maior é a necessidade do mesmo para o mapeamento de detalhe. Ou seja, em relação à aptidão, tem preferência de mapeamento aqueles vazios que apresentam maiores problemas e restrições à urbanização. O mapa do Apêndice D, mostra os níveis de aptidão à urbanização para cada vazio e o ponto de referência escolhido para o cálculo das distâncias.

Os Índices de Preferências (IP) calculados, que variaram de 0,004 a 0,639, foram divididos em cinco classes iguais, representando os níveis de preferência: muito baixa (PMB), baixa (PB), média (PM), alta (PA) e muito alta (PMA), conforme a Figura 8.62 e a Tabela 8.24.

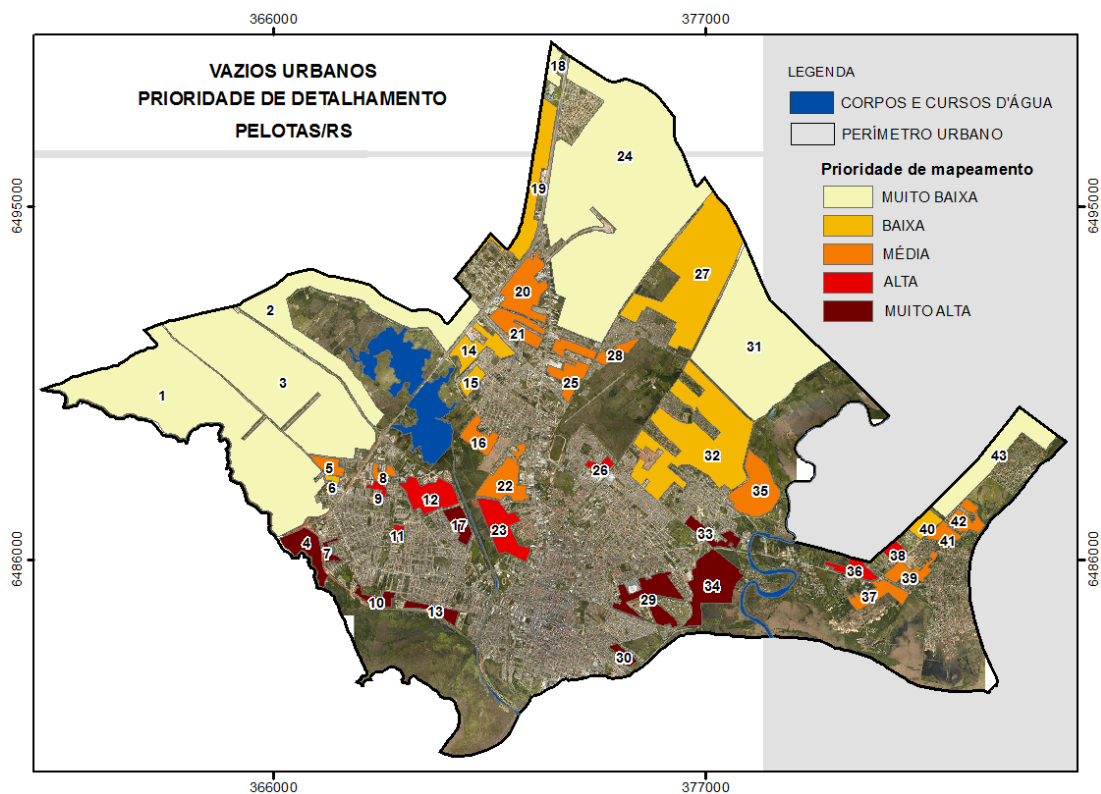


Figura 8.62: Mapa com a escala de prioridades de mapeamento futuro em escala de detalhe para os vazios urbanos

Tabela 8.24: Valores dos parâmetros utilizados para o cálculo da ordem de prioridade para mapeamento futuro, em escala de detalhe, dos vazios urbanos

VAZIO URBANO			CRESCIMENTO PROJETADO PARA 12,5 ANOS		CRESCIMENTO PROJETADO PARA 25 ANOS		PERCENTUAL DOS NÍVEIS DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO				IP	ORD
CÓD	ÁREA (Ha)	DIST (Km)	ÁREA (Ha)	% DO VAZIO	ÁREA (Ha)	% DO VAZIO	MUITO BAIXA	BAIXA	MODE	ALTA		
1	11,55	7,59	0,30	0,03	1,11	0,10	0,17	0,15	0,26	0,42	0,11	PMB
2	5,07	7,73	0,70	0,14	1,15	0,23	0,00	0,03	0,20	0,77	0,04	PMB
3	8,87	7,25	1,61	0,18	2,98	0,34	0,00	0,00	0,02	0,97	0,05	PMB
4	0,68	6,28	0,21	0,31	0,30	0,44	0,90	0,08	0,02	0,00	0,51	PMA
5	0,26	6,44	0,18	0,71	0,23	0,87	0,00	0,01	0,31	0,68	0,32	PM
6	0,06	6,20	0,04	0,69	0,04	0,69	0,00	0,00	0,27	0,73	0,27	PB
7	0,13	5,69	0,10	0,78	0,13	1,00	0,52	0,11	0,28	0,08	0,61	PMA
8	0,15	5,16	0,15	0,96	0,15	0,96	0,00	0,01	0,10	0,89	0,37	PM
9	0,10	5,07	0,10	1,00	0,10	1,00	0,00	0,06	0,31	0,63	0,43	PA
10	0,25	4,45	0,11	0,42	0,25	1,00	0,59	0,27	0,13	0,01	0,59	PMA
11	0,12	4,11	0,10	0,87	0,10	0,87	0,00	0,06	0,40	0,55	0,40	PA
12	0,90	3,87	0,50	0,55	0,90	1,00	0,00	0,44	0,21	0,34	0,44	PA
13	0,29	2,99	0,22	0,76	0,23	0,79	0,57	0,27	0,14	0,02	0,64	PMA
14	0,75	6,35	0,17	0,23	0,72	0,96	0,00	0,00	0,14	0,85	0,20	PB
15	0,25	5,63	0,06	0,23	0,25	1,00	0,00	0,00	0,21	0,79	0,22	PB
16	0,46	4,23	0,33	0,71	0,45	0,98	0,00	0,03	0,20	0,76	0,35	PM
17	0,38	2,84	0,21	0,55	0,38	0,99	0,00	0,85	0,13	0,02	0,55	PMA
18	0,31	13,31	0,04	0,13	0,11	0,35	0,00	0,03	0,16	0,80	0,00	PMB
19	1,82	10,21	0,99	0,54	1,77	0,97	0,00	0,00	0,00	1,00	0,22	PB
20	1,20	7,61	1,10	0,92	1,14	0,95	0,00	0,00	0,00	1,00	0,33	PM
21	0,64	6,68	0,44	0,68	0,64	1,00	0,00	0,00	0,10	0,90	0,30	PM
22	0,92	2,95	0,47	0,51	0,78	0,85	0,00	0,32	0,23	0,43	0,37	PM
23	0,98	1,93	0,23	0,23	0,81	0,83	0,00	0,80	0,13	0,07	0,44	PA
24	17,32	8,73	4,20	0,24	8,33	0,48	0,00	0,00	0,06	0,94	0,11	PMB
25	0,84	5,65	0,75	0,89	0,84	1,00	0,00	0,00	0,09	0,91	0,36	PM
26	0,18	3,32	0,18	1,02	0,18	1,00	0,00	0,00	0,03	0,97	0,40	PA
27	5,19	8,83	2,24	0,43	2,85	0,55	0,00	0,00	0,27	0,73	0,17	PB
28	0,29	6,20	0,26	0,89	0,29	1,00	0,00	0,00	0,06	0,94	0,35	PM
29	1,05	2,57	1,05	1,00	1,05	1,00	0,00	0,32	0,56	0,11	0,56	PMA
30	0,16	2,54	0,16	1,01	0,16	1,00	0,00	0,00	0,89	0,11	0,52	PMA
31	7,53	7,61	0,78	0,10	1,51	0,20	0,05	0,03	0,14	0,77	0,05	PMB
32	5,10	5,29	1,40	0,27	3,14	0,62	0,00	0,19	0,16	0,65	0,22	PB
33	0,26	4,15	0,26	1,00	0,26	1,00	0,01	0,71	0,18	0,10	0,61	PMA
34	1,53	4,09	0,86	0,56	1,34	0,88	0,69	0,15	0,10	0,05	0,61	PMA
35	1,27	5,79	0,24	0,19	0,55	0,43	0,24	0,47	0,20	0,09	0,34	PM
36	0,36	7,75	0,33	0,91	0,33	0,91	0,06	0,04	0,82	0,07	0,47	PA
37	0,53	8,33	0,32	0,61	0,34	0,65	0,00	0,00	0,87	0,13	0,31	PM
38	0,20	8,80	0,12	0,61	0,20	1,00	0,00	0,00	0,98	0,02	0,39	PA
39	0,44	9,16	0,29	0,66	0,30	0,68	0,00	0,02	0,68	0,30	0,30	PM
40	0,35	9,65	0,07	0,19	0,28	0,80	0,00	0,00	0,98	0,00	0,24	PB
41	0,28	10,11	0,13	0,45	0,28	1,00	0,00	0,00	0,67	0,33	0,30	PM
42	0,42	10,73	0,25	0,60	0,41	0,97	0,00	0,00	0,66	0,33	0,32	PM
43	2,07	11,10	0,22	0,10	0,76	0,37	0,00	0,00	0,68	0,32	0,09	PMB

## Capítulo 9 ANÁLISE GERAL

---

No presente capítulo, o resultado dos mapeamentos de suscetibilidade e aptidão à urbanização serão analisados sobre a ótica do planejamento urbano. Através da análise da crescimento urbano pretérito da cidade de Pelotas e das legislações urbanísticas, considerando que nos processos de planejamento local não houve aporte de informações geotécnicas, pretende-se avaliar o potencial desta em subsidiar a elaboração de normas urbanas mais adequadas no que se refere à compatibilização do uso e da ocupação do solo com as características físicas do meio.

### 9.1 PLANOS E LEGISLAÇÃO URBANÍSTICA

Sobre esse título estão arrolados instrumentos urbanísticos que, de uma forma ou de outra, contribuíram para conformação do espaço urbano construído da cidade de Pelotas. Embora o principal objetivo seja identificar e mapear os principais regramentos concernentes à localização, intensidade e tipologias de uso e ocupação do solo, correlacionando a ocupação do território com a legislação que a governou, afigura-se importante contextualizá-los com evolução histórica da normativa urbanística local, independente do seu grau de aplicabilidade e efetividade.

#### 9.1.1 De 1829 a 1968

Apesar do marco inicial da legislação urbanística de Pelotas terem sido os regramentos de posturas municipais de 1829 (ainda Freguesia de São Francisco de Paula) (DURO DIAS, 2017), as primeiras plantas urbanísticas da cidade correspondiam à urbanização do 1º loteamento (1812 a 1815), com a localização da atual Catedral São Francisco de Paula, do 2º loteamento (1835), com a extensão das ruas longitudinais em direção ao canal São Gonçalo; do terceiro loteamento (1858), com a expansão da malha urbana em direção norte e do 4º loteamento (1870) com a ocupação, à leste, do Bairro Várzea. Já no início do século XX surgiam novos planos de loteamentos para a periferia das ocupações iniciais, com a definição de traçados viários e outras ordenanças urbanas (SANTA CATHARINA, 2012).

Em 1915, sob o dogma dos planos de melhoramento e embelezamento, foi proposto o Código de Construções e Reconstruções de Pelotas: um código de posturas centrado na ideia de conforto, higiene e segurança, que foi apresentado por ocasião da implantação da rede de esgotos da cidade. Em 1924, foi publicado o memorial do projeto de ampliação da cidade, estudos de urbanismo e suas regras gerais, desenvolvido pelo Engenheiro Alemão Fernando Rullmann, o qual, segundo Santa Catharina (2012), apresentava um desenho de cidade que refletia uma influência do urbanismo alemão, dado, possivelmente, a origem e formação de seu autor. No plano de 1924, Rullman propôs um zoneamento de usos e organiza a cidade em zonas industrial, comercial e habitacionais (SANTA CATHARINA, 2012), na mesma linha do Plano Agache para o Rio de Janeiro (1927 a 1930). Tal fato, segundo Soares, P. (2001), ou tratava-se de uma coincidência histórica ou revelava a difusão dos modelos urbanísticos daquela época.

Em 1927, o Engenheiro Saturnino de Brito, maior expoente nacional dos planos de melhoramento e embelezamento, elaborou um relatório de saneamento para Pelotas que também incluía um projeto de expansão urbana que, segundo Soares (2002) era menos ambicioso ou mais realista que o proposto por Rullman. A expansão proposta por Saturnino de Brito limitava-se ao entorno da cidade existente (primeiros loteamentos).

João Py Crespo, intendente municipal, em 1930, assinou um novo código de construções para Pelotas. Inspirado nos planos de Agache para o Rio de Janeiro e São Paulo, que marcam o fim da época dos planos de melhoramento e embelezamento (dando início ao período dos planos de conjunto), o código de 1930 dispunha sobre regras construtivas. Algumas destas contribuíram para o desenho da forma da cidade e reforçaram os ideais de higiene, salubridade e do zoneamento de usos (SANTA CATHARINA, 2012).

Em 1947, Saturnino de Brito, partindo de uma leitura da cidade que descreveu os aspectos topográficos, hídricos, geológicos, climáticos e de salubridade de Pelotas, revisou o Relatório de Saneamento de 1924 e o Código de Construção de 1930 e propôs soluções para os problemas de abastecimento, saneamento e irregularidade na formação da cidade. A partir do diagnóstico inicial e do estudo do crescimento da cidade, Saturnino de Brito apresentou um planta geral de Pelotas, contendo a cidade existente na época e seu plano de expansão para a mesma.

Nenhum dos três planos de expansão urbana citados foram executados. Estes, conforme Santa Catharina (2012), serviram apenas como alerta para a necessidade de regulação do crescimento espacial, auxiliaram nas definições de zoneamento nos planos seguintes e tornaram-se referência para o desenho de loteamentos implantados na década de 1950.



### 9.1.2 Primeiro Plano Diretor (1968)

Conhecido como o Primeiro Plano Diretor da cidade de Pelotas, o plano de 1968 foi elaborado a partir de diretrizes urbanas definidas pela empresa ORPLAN - Organização e Planejamento, com sede na cidade de Porto Alegre, e é reflexo de um pensamento urbanístico que trazia a ideia do cientificismo aplicado sobre extensos diagnósticos da realidade local, característica dos planos de conjunto (VILLAÇA, 1999).

Conforme Santa Catharina (2012), a equipe técnica, a partir de um detalhado levantamento e diagnóstico da cidade, utilizou uma metodologia que buscava resultados expeditos e objetivos, utilizando-se de visitas à cidade, carta planimétrica e fotografias aéreas. O 1º plano continha o conceito de planejamento geral do território urbano, por meio de um rigoroso zoneamento funcional, da organização viária, de um conjunto de índices urbanísticos e de uma paisagem urbana baseada nos princípios do urbanismo moderno.

Em relação às tipologias e intensidades de uso do solo, o 1º PD, considerando o aspecto evolutivo, no qual as tendências de implantação natural serviram de critério avaliativo para o julgamento de adequação à estrutura urbana (PELOTAS, 1968), dividiu a cidade em 11 zonas (Figura 9.1) e classificou os usos em "conforme", "permissível" e "incompatível", estabelecendo diferentes índices de aproveitamento e taxas de ocupação aos dois primeiros. Por conforme, entendia-se o uso que deveria predominar na zona, caracterizando-a; por permissível, entendia-se o uso que poderia ser desenvolvido na zona, sem comprometer suas características; e por incompatível, o uso que era proibido para a zona, por estar em discordância com suas características presentes e/ou planejadas. Para tanto, o plano incentiva o uso conforme, em detrimento do permissível, ao estabelecer ao mesmo um maior potencial construtivo, através de maiores índices de aproveitamento e taxas de ocupação, instrumentos por meio dos quais também eram estabelecidas diferenças entre as densidades construídas planejadas para cada zona.

O Plano Diretor de 1968 trazia poucas determinações acerca do parcelamento do solo, restringindo-se a indicar requisitos para a abertura de novas ruas e a necessidade de elaboração de lei específica sobre o tema, que nunca foi editada.

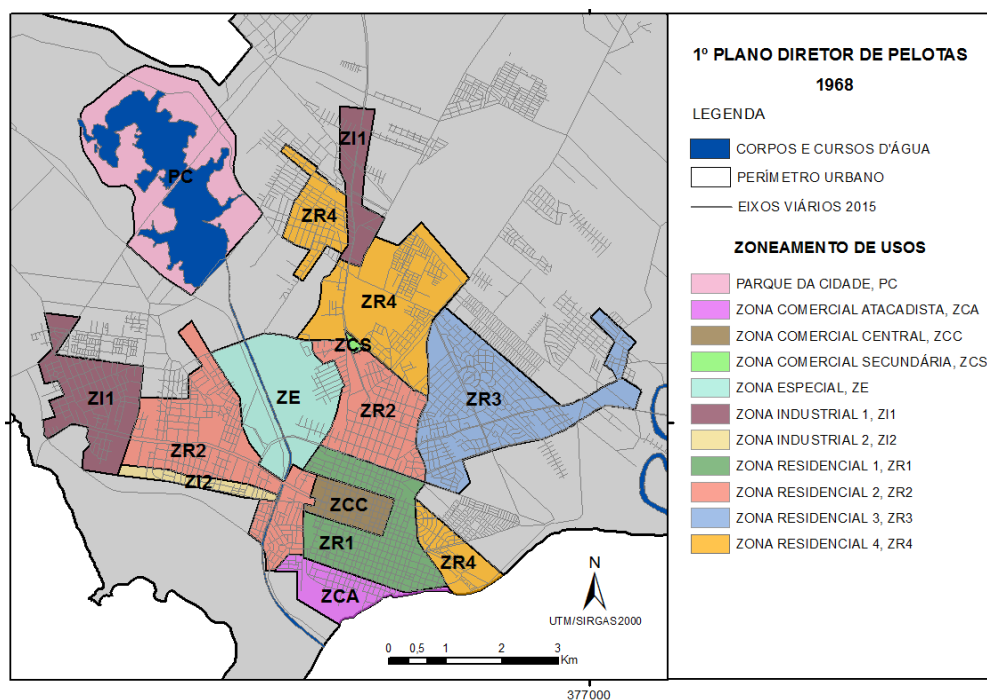


Figura 9.1: Zoneamento de usos do 1º Plano Diretor de Pelotas (baseado em: PELOTAS, 1968).

### 9.1.3 Segundo Plano Diretor (1980)

O Segundo Plano Diretor de Pelotas foi elaborado por uma equipe técnica local, constituída majoritariamente por arquitetos da Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação Geral. O ponto de partida para a definição dos novos regramentos urbanísticos foi a elaboração de um documento chamado de "marco teórico", o qual tratava de uma avaliação do desenvolvimento da cidade e dos instrumentos e propostas contidos no plano anterior. O documento, dividido em cinco capítulos: metodologia; diagnóstico físico territorial; diagnóstico político; modelo e estratégias de planejamento, trazia uma série de proposições para novo plano e o modelo de cidade, naquele momento, desejada (SANTA CATHARINA, 2012).

Elaborado no período dos chamados "planos sem mapas", ou seja, planos elaborados pelos próprios técnicos municipais, sem os extensos diagnósticos e complexidade técnica e intelectual típicos dos inaplicáveis superplanos (VILLAÇA, 1999), o Plano Diretor de Pelotas teve, como contexto histórico, a eminente falência do Banco Nacional de Habitação - BNH e do Serviço Federal de Habitação e Urbanismo (SERFHAU), as crescentes críticas aos preceitos urbanísticos do CIAM e importância atribuída ao sistema de circulação no planejamento das cidades modernas (Santa Catharina, 2012).

Entre as proposições gerais que nortearam o Plano Diretor de 1968 e serviram de parâmetro para avaliação de seus resultados e, a partir desta, a definição das estratégias de planejamento o novo modelo de cidade, citam-se o controle da expansão caótica através da definição do sentido do crescimento e a promoção do aumento de densidade na área urbana consolidada (PELOTAS, 1978). Começando por um reconhecimento e mapeamento dos vazios intra-urbanos, o marco teórico recomendava que o parcelamento do solo, para fins urbanos, somente fosse permitido dentro do perímetro da zona urbana existente, de forma a ocupar os vazios, ou em zona de expansão planejada.

No entanto, o plano estendeu exageradamente a zona urbana (incluindo as zonas de expansão urbana) para limites que, 37 anos depois, ainda não foram alcançados. A extensão da zona urbana gerou novos e maiores vazios urbanos; desta feita, mais periféricos, inviabilizando a densificação pretendida e impulsionando o surgimento de novos núcleos habitacionais de baixa renda em áreas periféricas, com pouca infraestrutura e equipamentos urbanos. A possibilidade do parcelamento de áreas periféricas de menor valor de mercado também estimulou a retenção, para especulação imobiliária, dos vazios urbanos mais centrais.

De outro lado, além de implantar um zoneamento um pouco mais flexível em relação ao plano de 1968, ao criar as zonas residenciais mistas, o Segundo Plano, pela primeira vez, estabeleceu zonas destinadas à preservação dos ambientes cultural e natural. Mas embora tenha criado as ZPPNs (Zonas de Preservação Paisagística Natural) este não determinou os regramentos para sua ocupação e uso. Deixou, então, essa definição a critério do município, no exame particular de cada caso, o que, ao longo do tempo de vigência da lei, gerou uma série de liberações, com pouco ou nenhum critério, que acabaram por descaracterizar boa parte dessas áreas.

No que tange à ocupação do solo (tipologias e potencial construtivo), o plano manteve o modelo do primeiro documento, classificando os usos em conforme, permissível e proibido (ao invés de incompatível) e estabeleceu para os dois primeiros IA, TO e altura máxima das edificações para cada uma das 9 zonas de uso regradadas (Figura 9.2).

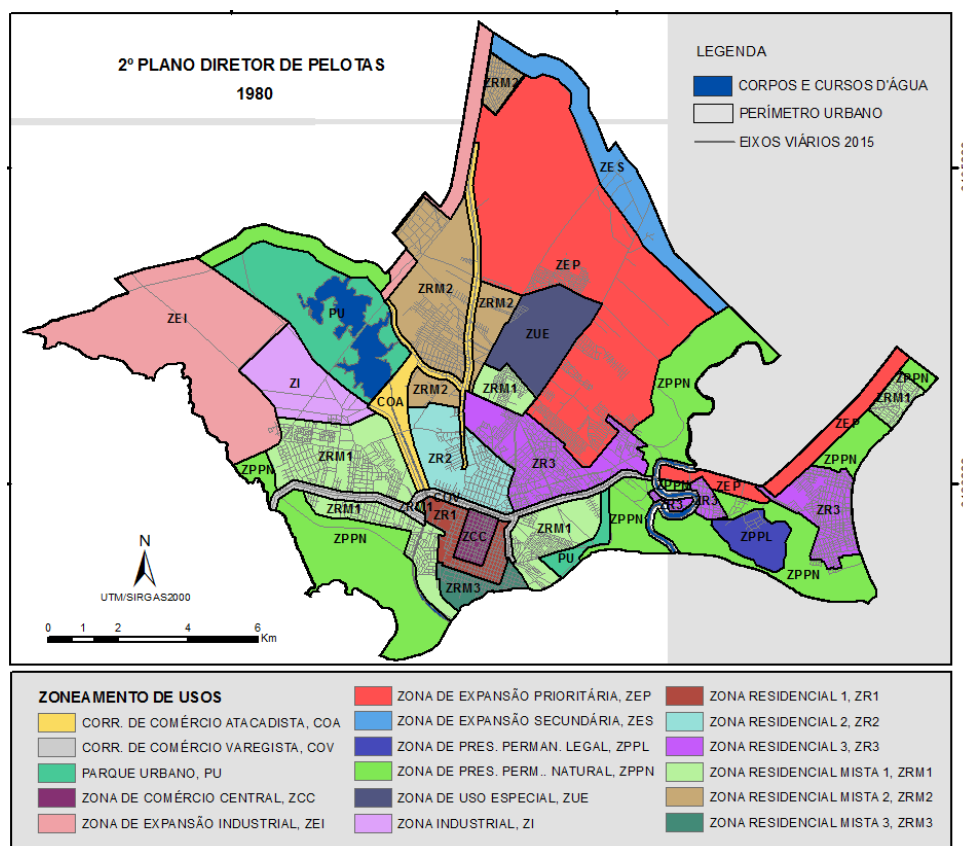


Figura 9.2: Zoneamento de usos no 2º Plano Diretor de Pelotas

O 2º Plano estabeleceu duas importantes restrições no que dizia respeito às condições geológico-geotécnicas dos terrenos, ao proibir o parcelamento de solo: (i) em "terrenos baixos, alagadiços ou sujeitos à inundação, antes de tomadas as providências necessárias para assegurar o escoamento das águas"; (ii) em "terrenos cuja estrutura geológica não apresente características de suporte adequadas para urbanização". Mas tais dispositivos não se mostraram, ao longo do tempo, aplicáveis e efetivos. Isto porque, neste caso, por exemplo: (i) o plano não indicava quais os locais eram sujeitos a alagamentos ou inundações ou que não apresentavam condições geológicas compatíveis com a urbanização; (ii) o plano não impunha a obrigatoriedade de realização e apresentação de estudos geológico-geotécnicos para o licenciamento dos empreendimentos; (iii) o caráter genérico dos dispositivos demandava o detalhamento técnico por parte do Escritório Técnico do Plano Diretor - ETPD, o que não foi realizado.

O ETPD foi criado com o plano para, entre outros objetivos, não apenas manter atualizado o acervo de informações sobre a cidade, como também realizar o detalhamento técnico do documento, tanto para complementar, como para manter atualizada a lei. Muito embora tenha sido previsto um processo de planejamento continuado, por meio de reavaliações, complementações e detalhamento permanente da lei base, isto não aconteceu. Seguiu-se a

regra comum, que se mantém até o presente: as prefeituras montam ou contratam toda uma estrutura técnica para os estudos e elaboração do plano diretor, mas não se capacitam humana e instrumentalmente para sua manutenção. A ausência de um processo continuado de planejamento, com a necessária sustentação política, não só tornou o plano obsoleto em diversos dispositivos, como incentivou negociações pontuais para edição de leis e decretos que, na maioria das vezes, atendiam tão somente o interesse da política local e de grupos específicos. Essa conjuntura acabou por descaracterizá-lo. Trata-se, como muito bem comentou Maricato (2002), de uma gestão urbana desconectada do planejamento e do plano diretor, realidade pretérita e presente.

#### 9.1.4 Terceiro Plano Diretor (2008)

O 3º Plano Diretor de Pelotas foi elaborado sobre a égide da Constituição de 1988 e do Estatuto da Cidade, incorporando diversos instrumentos jurídicos estabelecidos no último. Seu processo de construção iniciou em 2001 com a contratação da Fundação Centro de Estudios y Proyección del Ambiente - CEPA, com sede na cidade de La Plata na Argentina, para: a realização de jornadas, seminários, intercâmbios de investigadores e projetistas e congressos sobre temas relacionados à problemática urbana, rural, ambiental e de cadastro imobiliário. (ABUCHAIN, 2012).

As primeiras ideias e propostas do trabalho da CEPA foram apresentadas e discutidas no Primeiro Congresso da Cidade, em 2002 e resultaram em um relatório denominado "Bases para um Novo Pacto de Desenvolvimento Sustentável de Pelotas" que trazia as premissas para o planejamento da cidade intituladas "As Treze Ideia-Forças". O processo de planejamento foi interrompido entre 2003 e 2004, para realização de ajustes no 2º Plano Diretor, que nunca viraram lei. Em 2005, foram retomados os trabalhos do 3º Plano, cuja minuta foi apresentada e aprovada no 2º Congresso da Cidade, em 2006 (ABUCHAIN, 2012), e entregue ao chefe do executivo que somente em 2008 o encaminhou a uma equipe revisora e, logo após, ao legislativo, onde foi aprovada e transformada na lei 5502/2008.

Conforme Pelotas (2008), o Plano Diretor é instrumento básico da política de desenvolvimento municipal, abrangendo os aspectos físicos, sociais, econômicos e administrativos do crescimento da cidade. No que se refere ao uso e ocupação do solo, o 3º PD criou o chamado "Sistema de Territórios", dividindo a área urbana em Macro Regiões (ou Regiões Administrativas), Meso Regiões e Micro Regiões, e substituiu o zoneamento, em sua forma tradicional, por um sistema que visa à compatibilização dos usos acordo com: o porte da atividade; o nível de inconformidade; o grau de impacto; e a tipologia viária. Para

tanto, o plano classifica o sistema viário em cinco grupos, cada qual com características próprias, em que, de acordo com os níveis de incomodidade e os graus de impacto, são permitidas ou proibidas as atividades.

Em seu ideário, o sistema de usos estabelecido no PD buscou, ao considerar a compatibilidade dos usos entre si e com o ambiente natural e construído, ser mais adaptável à dinâmica urbana. Segundo Abuchain (2012), ao classificar as atividades por porte e grau de impacto, dentro de uma hierarquia viária, o plano é mais permissivo na localização das mesmas, o que "tende" a gerar uma cidade mais mista. Ao adotar o Estudo de Impacto de Vizinhança - EIV como instrumento de avaliação de grau de impacto para diversas atividades/porte, o PD objetivou, além de flexibilizar a localização das atividades, institucionalizar um sistema de redução e/ou compensação de impactos, através de medidas mitigatórias e/ou compensatórias. As únicas zonas de uso, definidas na forma tradicional pelo plano de Pelotas, são a industrial: destinada prioritariamente às atividades industriais e proibida às residências; a de transição industrial: para a qual é possível a compatibilização entre os usos residencial e industrial; e a rururbana: destinada ao desenvolvimento de atividades agropastoris de baixo ou médio grau de impacto e mínimo ou pequeno porte. Além destas, seguindo os preceitos do Estatuto da Cidade, o PD define Áreas Especiais de Interesse, que, segundo o mesmo, em face de suas características e interesses públicos delas decorrentes, são objeto de tratamento especial, através da definição de normas de ocupação diferenciada, e da criação de mecanismos de gestão para desenvolvimento das ações necessárias (PELOTAS, 2008). São elas: (i) Áreas Especiais de Interesse do Ambiente Natural (AEIAN); (ii) Áreas Especiais de Interesse do Ambiente Cultural (AEIAC); (iii) Áreas Especiais de Interesse Social (AEIS).

Quanto ao Regime Urbanístico<sup>13</sup> aplicado às edificações, o Plano estabelece como regra geral: (i) edificações de até 10 m de altura em todo o perímetro urbano, excetuado-se as Áreas de Especial Interesse, Região Administrativa Laranjal, Área Rururbana, e Áreas Industriais e de Transição Industrial; (ii) edificações de até 13 m de altura em logradouros

---

<sup>13</sup> O Regime Urbanístico compreende as Regras Gerais, as Alturas Diferenciadas, a utilização dos instrumentos de Outorga Onerosa e da Transferência do Direito de Construir, aplicados aos projetos de edificação, bem como o Regime para Áreas Especiais de Interesse, Região Administrativa do Laranjal, Área Rururbana, Núcleos de Urbanização Específica (na zona rural) e Áreas Industriais (PELOTAS, 2008). O Regime Urbanístico é estabelecido a partir dos limites de altura máxima das edificações, da configuração e tamanho do lote, dos recuos e taxa de ocupação.

com gabarito igual ou superior a 16 m, desde que o terreno possua testada igual ou superior a 12 m; (iii) edificações de até 19 m de altura; em imóveis que possuam testada igual ou superior a 15 m e que estejam inseridos nas áreas definidas pelas poligonais descritas na lei; (iv) edificações de até 25 m; em imóveis que possuam testada igual ou superior a 18 m, nos lotes voltados para os logradouros ou trechos de logradouros relacionados na lei. Desta feita, houve um deslocamento do potencial construtivo da área central, histórica, para as avenidas e as novas poligonais estabelecidas, e uma tentativa, com a regra geral dos 10 metros, de promover uma cidade mais horizontalizada. O Plano não se utiliza, de forma expressa, do Índice de Aproveitamento (ou taxa de aproveitamento). O potencial construtivo de cada terreno é definido pelos recuos mínimos e pela altura máxima estabelecidos, o que, em última análise, determina um índice construtivo de mesmas características.

Em relação aos problemas de natureza geotécnica ocorrentes ou passíveis de ocorrer na área urbana do município, os dispositivos do PD diretamente relacionado à questão são: (i) o Coeficiente de Permeabilidade, o qual, no percentual mínimo de 20%, tem aplicação regulada através do Código de Obra; (ii) a adoção de Caixa de Captação de Drenagem, para amortecimento das chuvas, exigência que nunca foi cumprida carece de ação do órgão municipal de saneamento, a qual não foi realizada até o presente; (iii) a proibição de loteamentos em terrenos: com declividades maior que 30%, salvo atendidas exigências específicas do CTPD; baixos, alagadiços ou sujeito a inundações; e cuja estrutura geológica não apresente características de suporte adequadas à urbanização. Em relação às três últimas proibições, cabe salientar que: inexistem terrenos parceláveis com declividade maior que 30% em toda a zona urbana; assim como no 2º PD, a proibição de parcelamento em terrenos inundáveis e/ou com baixa capacidade de suporte mostrou-se inócua, pois carece de mapeamento, detalhamento e condições técnicas para sua exigibilidade.

O Plano de Pelotas estabelece que, nos casos em que o mesmo é necessário, o EIV deverá ser executado de forma a contemplar os efeitos positivos e negativos do empreendimento ou atividade na qualidade de vida da população residente na área e em suas proximidades. Para tanto, o PD arrola uma série de análises mínimas que deverão estar presentes no laudo. São exigidas, por exemplo, análises das questões relacionadas à infraestrutura, à coleta e ao lançamento de efluentes sanitários, à permeabilidade do solo, às áreas de interesse ambiental e à geração de resíduos sólidos. Entretanto, nada é exigido em relação à suscetibilidade dos terrenos à ocorrência de erosões, inundações. Também não é feita nenhuma referência à presença de solos moles, e nenhum dispositivo estabelece uma relação direta entre os usos, os potenciais construtivos e a características geotécnicas dos terrenos.

### 9.1.5 Demais Legislações Aplicáveis

Além do 3º Plano Diretor, o uso e ocupação do solo urbano de Pelotas é também disciplinado por outros dispositivos legais tais como: o Código Florestal e as leis, decretos e resoluções que o modificaram e regulamentaram; a Lei Federal sobre parcelamento do solo (6.766/1979); o Código de Obras Municipal (Lei 5.528/2008); o Código do Meio Ambiente (Lei 4.594/2000); o Plano Ambiental de Pelotas.

O Plano Ambiental de Pelotas, o qual não é lei, remete às AEIAN, estabelecidas no 3º PD, e cria novas áreas, as quais chama de "Áreas Importantes para a Conservação da Biodiversidade", mas não define nenhum regramento específico de uso e ocupação para as mesmas. O Plano Ambiental é essencialmente programático. Partindo de um diagnóstico das questões ambientais da cidade, o plano incorpora, tão somente, diretrizes e programas para a gestão ambiental, sem estabelecer, desta forma, nenhum regramento para o uso e a ocupação das áreas ambientais.

Em relação às esferas estadual e nacional, cabe destacar o mapeamento da localidade de nome Pontal da Barra como Unidade de Conservação, pelo Sistema Estadual de Unidades de Conservação (SEUC), o qual classifica a área como uma RPPN, ou seja, uma Unidade de Conservação em área privada (PELOTAS, 2013).

## 9.2 CRESCIMENTO E LEGISLAÇÃO URBANÍSTICA EM PELOTAS

O mapeamento do crescimento urbano histórico de Pelotas foi realizado com base em plantas cadastrais de quadras, para os anos 1815 a 1916, e imagens aerofotogramétricas para os anos de 1953, 1965, 1988, 1995 e 2015, sobre as quais, através de reconhecimento visual, foram vetorizadas as respectivas manchas urbanas. Apesar de vetorizados, os anos 1965 e 1995 não foram representados nos mapas de evolução, visto que não houve crescimento significativo das manchas urbanas em relação aos anos de 1953 e 1988, respectivamente. Para compreensão dos mecanismos de planejamento que contribuíram com a conformação urbana de Pelotas, nos diferentes períodos históricos, os mapas de zoneamento do primeiro e segundo Plano Diretor, e de altura máxima das edificações do terceiro, foram transformados em mapas de potencial construtivo. Deve-se ter claro que, devido ao elevado grau de informalidade com que as cidades nacionais crescem, somadas às diferentes formas de negociação do capital privado com o poder político para uso da terra, os instrumentos urbanísticos legais somente são responsáveis por parte da morfologia da cidade. De toda forma, o principal objetivo do trabalho, neste item, é correlacionar o



planejamento e o crescimento da cidade com a aptidão urbana do solo, ou seja, não é objetivo desvendar os fatos e conceitos implícitos no processo de crescimento local.

O potencial construtivo estabelecido pelos planos foi calculado, para os dois primeiros planos, tomando-se por base a relação máxima entre a área do lote e a área de edificação sobre ele permitida (índice de aproveitamento - IA). Como os planos estabeleciam diferentes IA para usos considerados permissíveis e conformes, foi arbitrada a relação de 60% de usos conformes e 40% de usos permissíveis em cada zona. Isto ocorreu porque, para a definição das zonas, em cada plano, foram consideradas as características morfológicas e de usos predominantes à época. Para o 3º PD, que não utiliza expressamente a figura do IA, as alturas máximas foram convertidas no índice considerando-se a taxa de ocupação máxima e a altura mínima dos pavimentos (pé direito) estabelecida no código de obra. O terceiro plano não diferencia os usos em permissíveis e conformes, como nos anteriores.

### 9.2.1 Primeiro Período (1815 a 1916)

O primeiro loteamento urbano da cidade de Pelotas, então Freguesia de São Francisco de Paula, data de 1815 e ocorre sobre área de depósitos de terraço aluvial alto, em um cota altimétrica média de aproximadamente 7 metros. Com drenagem pluvial através de uma sanga, onde é hoje o canaleta da Rua Gal. Argolo, a área era livre de inundações, com exceção à Rua Argolo, antes da construção do canaleta. De 1815 a 1835, a ocupação cresceu em direção sul, ainda ocupando a área de terraço aluvial, mas já se projetando sobre as áreas mais baixas dos depósitos flúvio-lacústres (a sudeste). De 1835 a 1882, continua o crescimento na direção sudeste com a ocupação de parte da várzea dos canais São Gonçalo e Pepino. Trata-se de área baixa, com maior suscetibilidade à ocorrência de inundações, mas que, em boa parte, possui uma certa declividade em direção aos canais, o que reduz a possibilidade de alagamentos. De 1882 a 1916, embora o vetor sudeste ainda se mantenha, o crescimento toma os rumos predominantes norte, em direção às áreas mais altas, e leste, ultrapassando o antigo leito do Arroio Santa Bárbara e ocupando novamente as áreas sujeitas a inundações dos depósitos flúvio-lacustre (Figura 9.3).

Durante esse primeiro período de desenvolvimento (1815 a 1916), a cidade de Pelotas cresceu de forma espontânea, através da anexação de áreas vizinhas aos primeiros loteamentos. Este crescimento se deu naturalmente, em direção ao Canal São Gonçalo, que ligado à Laguna dos Patos era, a época, a principal via de escoamento e entrada de produtos da cidade. Somente tomou outras direções ao atingir os limites físicos impostos por este canal, pelo canal do Pepino e pelo canal Santa Bárbara. Não houve, portanto, como era

de se esperar, nenhuma disciplina legal sobre o uso e ocupação do solo, visto que os códigos urbanísticos existentes diziam respeito tão somente as questões de posturas.

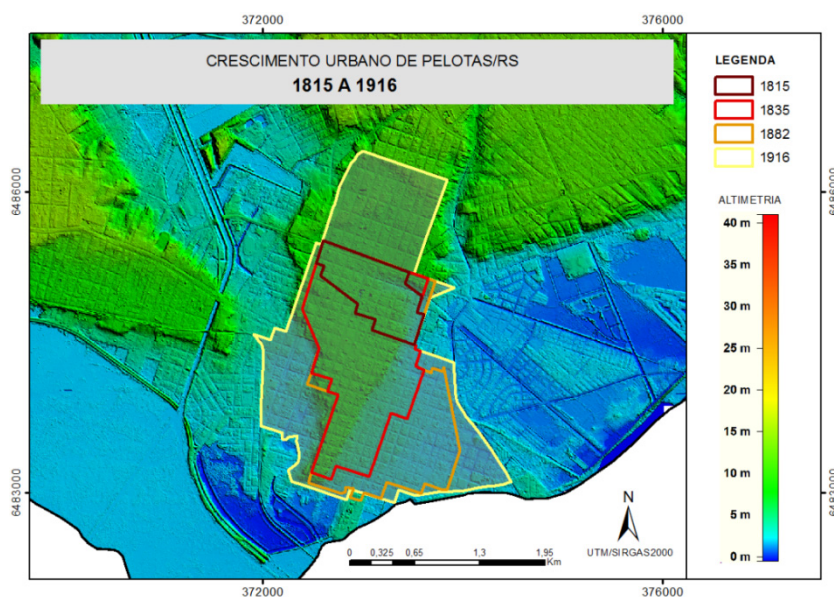


Figura 9.3: Crescimento urbano da cidade de Pelotas entre os anos de 1815 e 1916, tendo como referência a altimetria local

## 9.2.2 Segundo Período (1916 a 1953)

A partir de 1916, com o aumento do crescimento territorial da cidade surgiram os planos de expansão de Rullmann (1924) e Saturnino de Brito (1927), os quais, como já visto, não foram seguidos. De 1916 a 1953 a cidade, sem nenhum plano urbano pré-estabelecido, cresce em três direções: oeste, norte e nordeste, dando início ao que hoje são, respectivamente, as regiões administrativas do Fragata, Três Vendas e Areal. Também é desse período o início da formação urbana da praia do Laranjal, junto à Laguna dos Patos. Com exceção dessa última, as ocupações leste, norte e nordeste ocorrem, em quase toda sua totalidade, sobre os depósitos de terraço aluvial alto, ou seja, em áreas de altimetria média variando de 11 a 18 metros, com aptidão à urbanização de moderada a alta. A ocupação praiana, por sua vez, dá-se sobre áreas baixas; porém, por suas características físicas locais, possui, em sua maior parte, suscetibilidade moderada à urbanização. Exceção se faz à porção do Balneário Valverde que se desenvolve sobre os Gleissolos, onde a aptidão é muito baixa. A Figura 9.4 apresenta, tendo como referência à altimetria local, as manchas urbanas dos anos 1916 e 1953, mostrando como nesse período histórico o crescimento de Pelotas seguiu as áreas mais altas e menos suscetíveis ao alagamento, por decorrência de inundações.

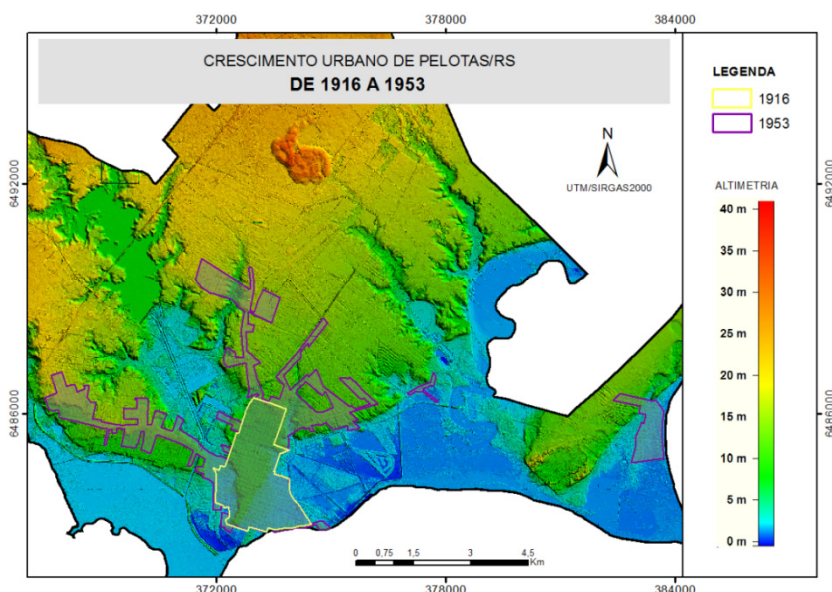


Figura 9.4: Crescimento urbano da cidade de Pelotas entre os anos de 1916 e 1953, tendo como referência a altimetria local

### 9.2.3 Terceiro Período (1953 a 1988)

De 1953 a 1988, a ocupação urbana de Pelotas continuou crescendo predominantemente nas direções norte, oeste e nordeste, mas um novo e importante vetor de crescimento surgiu: o vetor leste (Figura 9.5). Representado, à época, pela ocupação de áreas baixas próximas à área central, ultrapassando o limite físico do Arroio Pepino (o qual foi canalizado), das áreas ao sul da Av. Ferreira Viana e das áreas ao longo da Av. Adolfo Fetter, que ligam o centro da cidade à Praia do Laranjal, o vetor leste se intensificou e se manteve até o presente. Até 1968, o crescimento se desenvolveu preponderantemente sobre a forma de novos loteamentos, sem a orientação de nenhuma legislação ou plano urbanístico de expansão e/ou controle do uso do solo. Seguiu, basicamente, a demanda por novos locais de moradia e de produção, a procura, a oferta e a retenção da terra. Conforme mostra o mapa da Figura 9.6, de 1953 até a elaboração e entrada em vigor do primeiro instrumento de planejamento e controle do uso e ocupação do solo (1968), diversas áreas baixas, correspondentes às várzeas do Canal São Gonçalo e dos arroios Pepino e Santa Bárbara, foram ocupadas. A ocupação do leito maior do Canal São Gonçalo (canal principal) não só sujeitou as populações residentes aos riscos inerentes às inundações como piorou suas condições, elevando a cota de nível das enchentes.

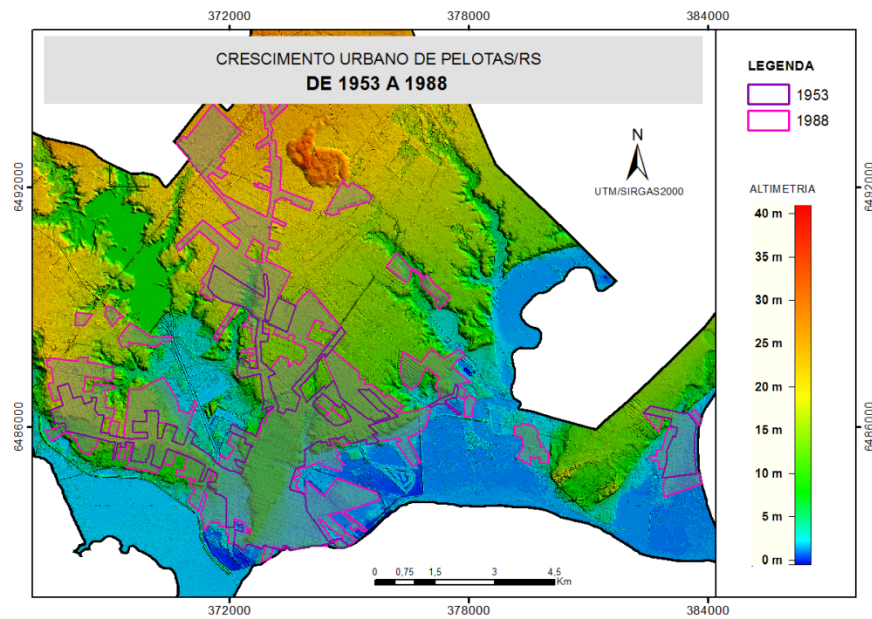


Figura 9.5: Crescimento urbano da cidade de Pelotas entre os anos de 1953 e 1988, tendo como referência a altimetria local

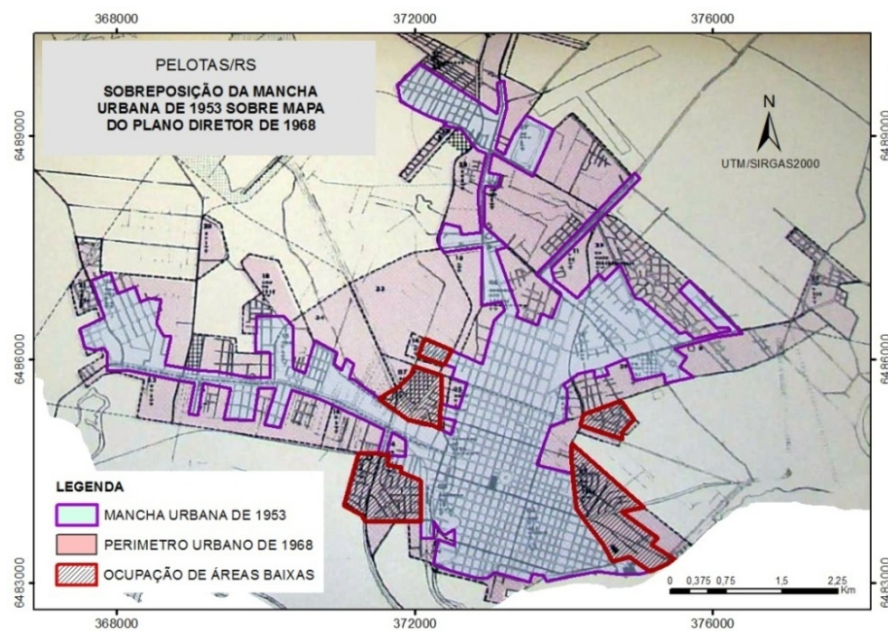


Figura 9.6: Sobreposição da mancha urbana de 1953 sobre o perímetro urbano de 1968. Em destaque, as áreas baixas ocupadas (baseado em PELOTAS, 1968)

As constantes inundações das planícies de inundação do Canal São Gonçalo levaram o Departamento Nacional de Obras e Saneamentos - DNOS a projetar e executar, a partir de 1940, um conjunto de obras visando à proteção dessas áreas. O sistema, descrito no Capítulo 5, que somente foi concluído em 1990, teve duplo efeito: ao mesmo tempo em que deficitariamente protegeu as áreas inundáveis, incentivou o aumento de sua ocupação.

A partir de 1968, a cidade passa a dispor de um instrumento técnico-jurídico de ordenação do uso do solo. O 1º Plano Diretor, elaborado com base em estudos sobre o meio físico natural e construído, limita-se a regradar o perímetro urbano então existente, não estabelecendo zonas para a expansão urbana. Ao não estabelecer regramento para além do perímetro ocupado, pretendia, o planejador, a densificação dessas áreas, especialmente as centrais. O plano de 1968 define as porções ocupadas das planícies de inundação do canal São Gonçalo e do já canalizado e desviado arroio Santa Bárbara, como zonas comerciais e residenciais e, apesar das mesmas terem sido severamente atingidas nos eventos pluviométricos de 1941, 1956 e 1959, atribui potencial construtivo (calculado) variando de 0,88 a 6,2 vezes a área do terreno (Figura 9.7 e Figura 9.8).

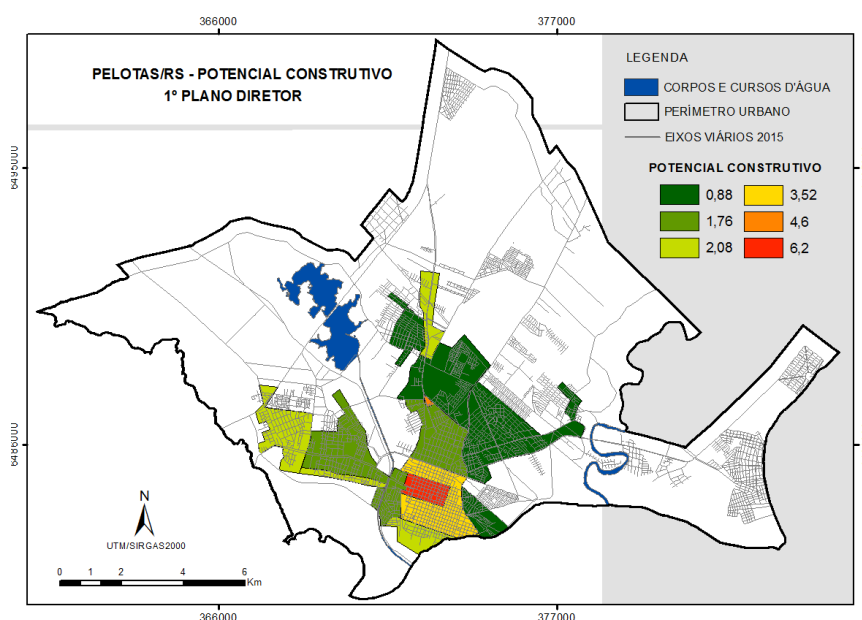


Figura 9.7: Potencial construtivo calculado para as zonas de uso do 1º PD

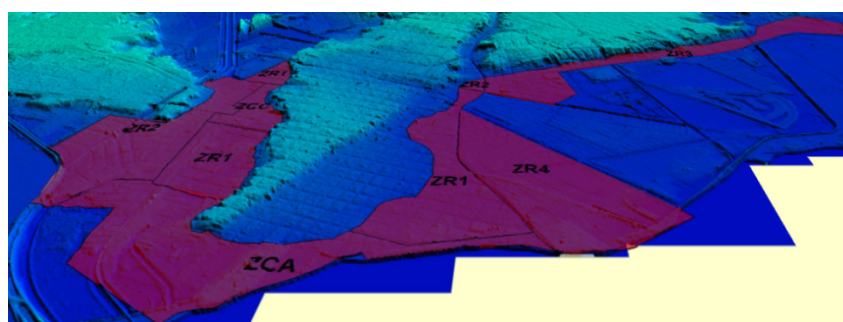


Figura 9.8: Zonas de uso do 1º PD em áreas sujeitas a inundações

No período de 11 anos, entre a entrada em vigor do 1º PD e o início dos trabalhos do segundo plano (1968 a 1979), percebe-se tanto uma densificação da ocupação dentro das zonas do plano quanto o surgimento de vários pontos de ocupação fora das mesmas, ou

seja: a cidade cresceu para além dos limites estabelecidos, incluindo áreas de baixa aptidão. Uma das novas ocupações chama a atenção, por tratar-se de um loteamento de baixa renda promovido pela prefeitura (Loteamento Navegantes). Na verdade, o poder público não só descumpriu o plano, construindo além do perímetro urbano por ele estabelecido, como também contribuiu para o aumento das ocupações em áreas baixas, que embora protegidas pelo dique das cheias do São Gonçalo, tem sua drenagem totalmente dependente de um deficiente sistema de recalque. O Loteamento Navegantes, que em pouco tempo aumentaria com a implantação dos loteamentos Navegantes II e III, tornou-se um dos maiores loteamentos de baixa renda da cidade.

Em 1980, o 2º Plano Diretor expande a zona urbana, cria a zona de expansão urbano e, apoiado no dispositivo que proíbe o parcelamento de áreas sujeitas a problemas de origem geológico-geotécnica, sem que sejam tomadas medidas corretivas, confere usos e potencial construtivos às áreas de muito alta suscetibilidade à ocorrência de inundações e baixa e muito baixa aptidão à urbanização (Figura 9.9). Mas, como já visto, o PD, além de não localizar e não estabelecer as condições para identificação dessas áreas, não definiu as condições para torná-las aptas à urbanização. A falta de detalhamento e/ou regulamentação da norma urbanística a tornou inaplicável e, conseqüentemente, ineficaz.

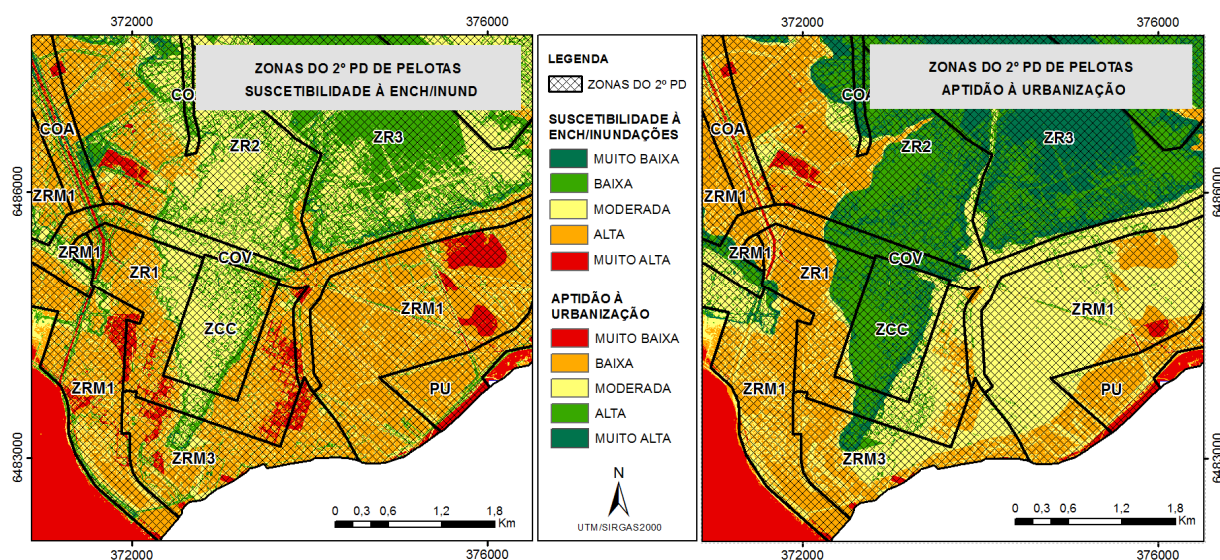


Figura 9.9: Zonas de uso e ocupação do 2º PD de Pelotas sobre mapa de suscetibilidade a inundações (à esquerda) e aptidão à urbanização (à direita)

Um exemplo da não aplicação do citado regramento é o Loteamento Colina do Sol. Licenciado durante a vigência do 2º PD, o loteamento que ocupa, em sua porção leste, terrenos dos terraços aluviais altos e, em sua porção oeste, terrenos baixos da planície

flúvio-lacustre, foi parcialmente inundado durante a inundação de 2004, conforme mostra a Figura 9.10.

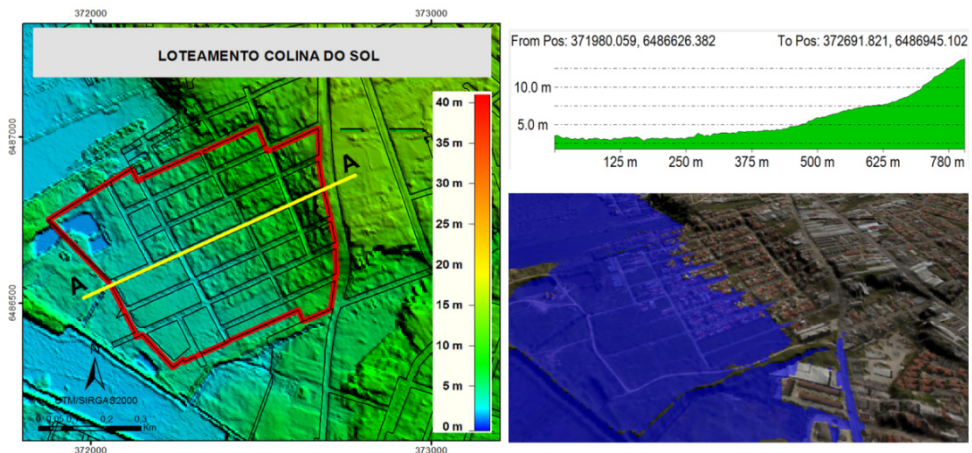


Figura 9.10: Loteamento Colina do Sol.   esquerda: poligonal do loteamento sobre o mapa hipsométrico do relevo;   direita e acima: perfil longitudinal AA (escalas horizontal e vertical diferentes);   direita e abaixo: simula o da inunda o dos terrenos na inunda o de 2004 (exagero vertical de 5 vezes)

O 2  PD estabelecia potencial construtivo para áreas de baixa aptidão   urbaniza o, que variavam de 0,82 a 1,6 vezes a área territorial dos imóveis, tanto para usos residências quanto para usos comerciais e de serviços, ou seja, não foi previsto nenhum tipo de redu o de potencial ou proibi o de usos (em especial o habitacional) para tais áreas (Figura 9.11).

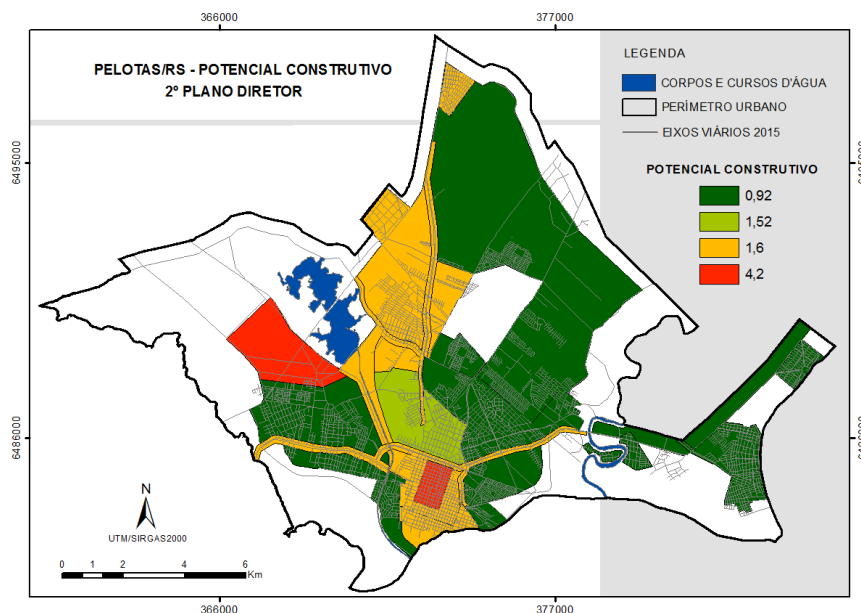


Figura 9.11: Potencial construtivo calculado para as zonas de uso do 2  PD

### 9.2.4 Quarto Período (1988 a 2015)

De 1988 a 2015, a cidade seguiu crescendo nas direções leste, norte, nordeste e leste, com uma forte intensificação deste último vetor e um considerável aumento na ocupação de áreas baixas (Figura 9.12). Importante observar que a grande maioria das ocupações deste período em áreas de baixa aptidão à urbanização, ocorreu sobre a forma de loteamentos regulares, tais como o Marina Ilha Verde e o Pontal da Barra.

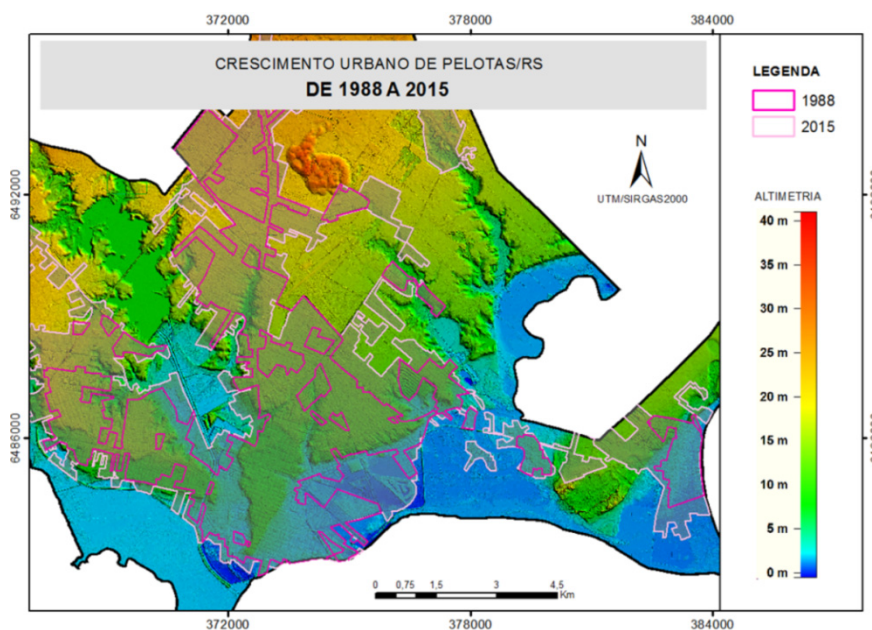


Figura 9.12: Crescimento urbano da cidade de Pelotas entre os anos de 1988 e 2015, tendo como referência a altimetria local

O Plano Diretor de 2008 (3º PD), através da altura máxima das edificações, da taxa de ocupação e dos recuos, confere potencial construtivo que varia de 0,2 a 5,6 para a maior parte do território urbano. Para a zona industrial, o PD estabelece altura livre, o que, em teoria, resultaria em potencial ilimitado. Como dificilmente as edificações desse tipo de uso atingirão grandes alturas, foi considerado, para fins de representação, a altura máxima correspondente ao dobro do maior limite para as demais zonas, o que resultou em um potencial construtivo de 11,2 (Figura 9.13). Nas chamadas Áreas Especiais de Interesse do Ambiente Natural - AEIAN e no Sítio Charqueador (Área Especial de Interesse do Ambiente Cultural - AEIAC) que, na sua maioria, correspondem às áreas de muito baixa aptidão à urbanização, o plano permite o parcelamento do solo através de "sítios de lazer", com área mínima de 1 hectare e taxa de ocupação máxima de 10%, resultando no potencial construtivo de 0,2.



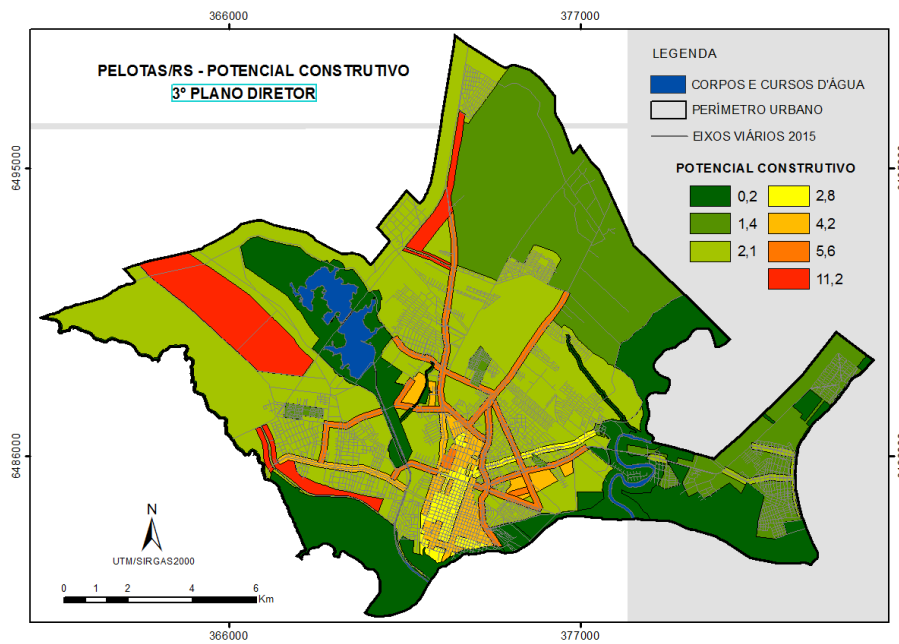


Figura 9.13: Potencial construtivo calculado para as zonas de uso do 3º PD

A possibilidade de usos das áreas ambientais, com baixo índice construtivo e atividade de baixo impacto foi uma evolução em relação ao plano anterior que, ao não permitir ocupação das mesmas, acabava por incentivar a ocupação informal e/ou a negociação para sua liberação no campo estritamente político. Em contrapartida, o 3º PD libera o parcelamento e atribui potencial construtivo, variando de 2,1 e 11,2 para áreas de muito baixa aptidão à urbanização que eram de ocupação proibida no 2º plano (Figura 9.14).

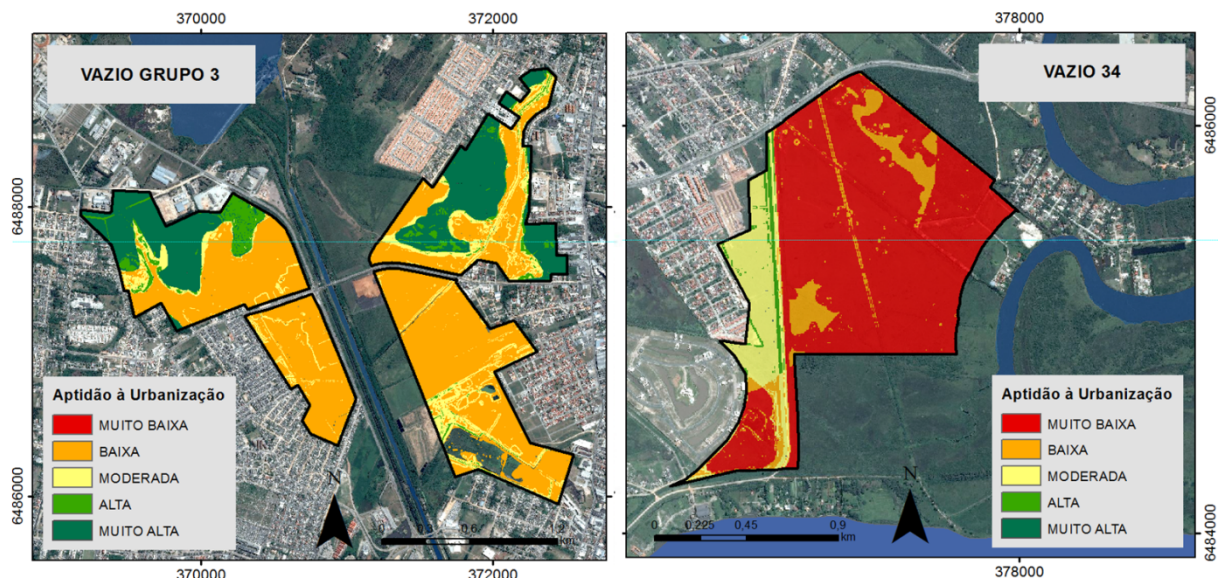


Figura 9.14: Vazios urbanos de baixa e muito baixa aptidão à urbanização sobre os quais é permitido o parcelamento do solo e atribuído potencial construtivo de 2,1 vezes a área dos terrenos

Dessas áreas, é especialmente inadequada a ocupação, nos termos do plano, do vazio urbano de nº 34, em razão deste ser de muito alta suscetibilidade a inundações e servir como uma área de amortecimento e drenagem natural das águas pluviais na região. Também se mostra imprópria a liberação de parcelamento do solo nas áreas de baixa aptidão à urbanização, correspondentes aos vazios urbanos de nº 17 e 23 e a parte dos vazios urbanos de nº 12 e 22 (grupo 3), sem que tenham sido estabelecidos critérios técnicos claramente definidos na lei do plano ou em regulamento específico.

### 9.3 PLANEJAMENTO URBANO E MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

Da análise da evolução urbana de Pelotas, depreende-se que a cidade, a despeito da existências de diversos vazios intra-urbanos em zonas mais altas, cresceu sobre áreas baixas de alta e muito alta suscetibilidade à ocorrência de inundações e baixa e muito baixa aptidão à urbanização. Entre os diversos fatores (sociais, econômicos e políticos) que contribuíram para tal realidade, dois fatores institucionais concernentes ao planejamento da cidade merecem destaque: (i) a inexistência de restrição legal à ocupação ; (ii) a inexigibilidade e ineficácia da legislação urbanística no que se refere à questão.

Desta forma, independentemente do período histórico, das bases e dos modelos de planejamento empregados, as características geológico-geotécnicas do meio físico que impõem ameaças às ocupações, considerando seus aspectos humanos e econômicos, foram reinteiradamente desconsideradas. Além das ameaças às populações vulneráveis, locais com características ambientais que ensejam conservação, foram degradados ou submetidos ao risco de degradação.

Cabe enfatizar que o crescimento urbano de Pelotas não se revela um exemplo isolado; pelo contrário, ele é reflexo do processo normal de urbanização das cidades nacionais, que em suas expansões territorial, social e econômica, consomem áreas de baixa aptidão e de variável grau de ameaça. Neste sentido, Pelotas evidencia-se uma amostra dos problemas associados à inadequabilidade ou à ineficácia das normas resultantes do processo de planejamento urbano no Brasil. Inúmeras são as causas do fracasso do planejamento urbano sob esse aspecto, muitos deles de ordem política e econômica, associados à relação entre capital e estado. Todavia, dentre eles, a inexistência e/ou a não apropriação de informações de caráter geológico-geotécnico constitui-se um fator de grande relevância. Nessa perspectiva, Pelotas também ratifica o que ocorre em grande parte das cidades brasileiras. Apesar dos primeiros planos urbanísticos da cidade, incluindo o PD de 1968, aparentemente não considerarem o meio geológico em seus projetos de expansão e uso do

território urbano, os planos de 1980 e 2008 trazem dispositivos que de forma expressa proíbem o parcelamento e ocupação de áreas sujeitas às inundações. No entanto, a ocupação das áreas suscetíveis ao fenômeno natural, continuou a ocorrer, principalmente em forma de loteamentos regularmente licenciados.

Da análise do regramento legal e do diálogo com os técnicos municipais responsáveis pela área de planejamento urbano, constatou-se que os dispositivos são de difícil exigibilidade, porque não indicam os locais tampouco estabelecem as condições de sua aplicação, ou seja: não existe base técnica para isto. Pelotas, assim como a maior parte dos municípios do Rio Grande do Sul e do resto do País, não dispõe de um tipo de mapeamento geológico-geotécnico, voltado, ou não, ao planejamento municipal. O conhecimento sobre existência e localização de áreas suscetíveis a alagamentos tem por base a ocorrência de eventos históricos e a cartografia do relevo local, não havendo, lamentavelmente, um documento que identifique claramente os locais e seus níveis de suscetibilidade a esse e outros fenômenos geodinâmicos, como a erosão. O mesmo ocorre em relação à existência de locais com problemas relacionados à capacidade de suporte dos terrenos.

Por sua vez, o planejamento urbano sustentável demanda uma investigação prévia e consistente do meio físico local, capaz de subsidiar a tomada de decisões, a formação de estratégias e oferecer suporte à aplicação de instrumentos de regulação do uso e da ocupação do território da cidade. Essa análise deve ser capaz de gerar documentos, entre eles, os de caráter geológico-geotécnico, que possam ser apropriados pela sociedade. O conhecimento social sobre existência e localização de áreas ambientalmente frágeis e de ameaça à ocupação é essencial ao processo de planejamento e controle do uso do solo; ou seja, não só os técnicos do planejamento devem ser os destinatários da informação geológico-geotécnica. É fundamental que os demais atores urbanos, em especial a população, tenham o conhecimento das propriedades básicas e dos problemas associados às diferentes áreas do território da cidade. A apreensão das informações a cerca do meio físico capacita tanto a demanda por solução para problemas existentes e por ações preventivas a problemas futuros em áreas já ocupadas (XAVIER *et al.*, 2015), quanto a necessária participação da sociedade nos processo de planejamento. O conhecimento sobre o meio físico urbano também é capaz de promover uma compreensão geral sobre a adequabilidade de ocupação das áreas livres, agregando mais um componente técnico na oferta e na procura pela terra (XAVIER *et al.*, 2015). Também, a imposição e exigibilidade de restrições ao uso do solo por parte do poder público torna-se facilitada com o apoio de instrumentos técnicos adequados, como as cartas e os mapas geológico-geotécnicos.

Neste sentido, os resultados obtidos com a aplicação da metodologia proposta mostram-se plenamente capazes de ofertar subsídio técnico às ações de planejamento, à aplicação e à exigibilidade da legislação dele resultante e, também, a participação dos atores urbanos no processo de organização e desenvolvimento urbano sustentável.

A metodologia pode ser replicada, com adaptações, se necessário, a cenários urbanos e fisiográficos de outros municípios brasileiros, em especial os costeiros. No entanto, mostra-se fundamental o investimento público em aquisição de dados básicos sobre o território. A metodologia baseia-se no uso de dados pré-existentes, como base para geração de novos dados. Por sua vez, resalta-se que a Prefeitura de Pelotas disponibilizou uma série de informações geográficas que foram empregadas diretamente nos processos de mapeamento. Além do mais, é indispensável o acesso a imagens áreas (fotogramétricas ou de satélite), modelos numéricos de terreno e elevação (em escalas adequadas) e laudos de prospecções geotécnicas, a fim de viabilizar os procedimentos.

Desta feita, um cenário futuro, no qual a informação geotécnica faça parte dos processos de planejamento e elaboração de legislação urbanística nas cidades brasileira suscetíveis à processos geodinâmicos danosos, passa, indiscutivelmente, pela implementação de programas e projetos de aquisição e elaboração de dados básicos sobre o território físico das cidades. A premência de investimentos na área revela-se mais evidente em face das leis federais 12.340/2010 e 12.608/2012 que instituíram a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC. Esses diplomas determinaram a criação do cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos. Estabeleceram, ainda, aos municípios cadastrados, o dever de "elaborar mapeamento contendo as áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos".

## Capítulo 10 CONCLUSÕES

---

Boa parte dos impactos antrópicos sobre o meio-físico e os riscos a que são submetidas grandes parcelas das populações das cidades brasileiras advêm do crescimento urbano não planejado e/ou de um planejamento urbano inadequado ou ineficaz. Embora sejam muitas as críticas aos modelos de planejamento aplicados no Brasil e sua incapacidade em condicionar o crescimento urbano aos interesses coletivos, o urbanismo continua tendo um papel fundamental na organização e no desenvolvimento sustentável das cidades brasileiras. Entre os diversos fatores que conduzem o planejamento e a gestão urbana ao fracasso na realização de boa parte de seus objetivos, destaca-se a ausência de dados e de diagnósticos acerca do meio físico e dos problemas a ele associados. Um amplo conhecimento sobre a área planejada revela-se imprescindível na decisão ou escolha das melhores alternativas para o aproveitamento dos recursos disponíveis. Nesta direção, o Estatuto da Cidade, base de construção dos planos diretores contemporâneos, estabelece a pertinência de uma adequada leitura técnica sobre o ambiente da cidade e da disponibilidade de um "sistema de informações espacializadas" (BRASIL, 2002), com dados sobre o meio físico da área planejada. Neste contexto, conuiu-se que a cartografia geotécnica deve preencher tal espaço e ser uma fonte efetiva de informações que orientem a elaboração dos planos urbanos, especialmente nas cidades sujeitas à ocorrência de eventos geodinâmicos, causadores de prejuízos e riscos às populações.

Apesar do País ser razoavelmente dotado de metodologias de mapeamento, a prospecção e análise das mesmas permite concluir que há premência de novas investigações metodológicas no que se refere à otimização dos processos (com redução de esforços e custos); uma melhor adequação ao ambiente da cidade; e a aplicação da cartografia geotécnica ao planejamento urbano. Entre os diversos caminhos a se seguir, o detalhamento progressivo associado à análise do crescimento urbano apresentou-se como uma forma de direcionar e reduzir as áreas de prospecção e mapeamento às porções menores do território da cidade, excluindo as áreas de ocupação consolidada e áreas com reduzida probabilidade de ocupação futura. Em trabalhos anteriores, a análise da morfologia e crescimento urbano já foram incorporadas ao processo de mapeamento geotécnico, como por exemplo, os de Higashi (2002) e Xavier (2010). Entretanto a utilização de modelagem e

simulação do crescimento, associadas ao mapeamento dos vazios urbanos mostra-se inédita.

Partindo de uma revisão da literatura acerca da urbanização, do urbanismo e do estudo do crescimento urbano, o presente trabalho fez uma análise das principais metodologias de mapeamento empregadas no País, desde as mais genéricas até as direcionadas ao planejamento urbano. Foi possível, desta forma, estabelecer o marco teórico para estruturação da metodologia empregada no estudo de caso: a cidade de Pelotas/RS. O método progressivo de Cerri *et al.* (1996), agregado a conceitos e procedimentos das metodologias de Diniz & Feitas (2013), Sobreira & Souza (2012) e do método regional de Dias (1995), apresentaram-se como os mais adequados às condições e aos objetivos do estudo. As metodologias, na forma com que foram estruturadas, não se sobrepuseram, ao contrário, se complementaram de modo a conformar um novo procedimento que buscou gerar dados e produtos (mapas e cartas) voltados ao planejamento e controle do crescimento da cidade. Entre os produtos da cartografia geotécnica, os mapas de suscetibilidade a processos geodinâmicos e a carta de aptidão à urbanização se evidenciaram como instrumentos capazes de fornecer informações sobre aspectos físicos do meio urbano relacionados diretamente à ocupação do território.

A caracterização inicial da área de estudo, primeira etapa da aplicação da metodologia, ao retratar o contexto fisiográfico e identificar os principais problemas de origem geológico-geotécnica, foi fundamental no direcionamento e execução das etapas seguintes, confirmando que uma leitura inicial e abrangente sobre a área, em seus aspectos relacionados ao estudo, revela-se etapa importante no processo de mapeamento geotécnico. A caracterização inicial também evidenciou a dependência, para aplicação desta e de outras metodologias de mapeamento, em especial as voltadas para o planejamento urbano, da existência de dados básicos sobre o território que possam ser usados diretamente no processo de mapeamento e/ou para a geração de informações derivadas. Os dados topográficos e o imageamento da área em estudo são fundamentais. Tanto que, sua inexistência impede a aplicação desta e de outras metodologias. Já outros dados, tais como a geologia, pedologia e geomorfologia, podem ser produzidos no decorrer do processo, agregando-se métodos específicos para cada tema. Dos resultados da aplicação da primeira etapa, também pode-se concluir que a avaliação da compatibilidade de escala entre os mapas básicos e os modelos numéricos utilizados e a determinação das escalas limites de mapeamento que se pode atingir por meio do cruzamentos e refinamentos dos mesmos deve fazer parte de qualquer processo de mapeamento em que haja produção de dados novos e/ou aumento de escala de dados existentes.

No presente trabalho os mapas da geologia e da pedologia foram refinados a partir da geomorfologia produzida com base nas imagens, nos modelos e nos mapas pré-existentes. Cabe ressaltar que o método só é válido para locais onde a relação entre as formas dos relevo, os solos e os substratos geológicos são bem entendidos ou evidentes, e que a utilização prioritária de mapas e informações pré-existentes para uso direto ou para a produção de dados secundários, mostrou-se adequada e exitosa no que se refere à redução de tempo, custos e esforços relacionados ao processo de mapeamento. Todavia, como comentado, é dependente da existência de um rol mínimo de informações. Também salienta-se que na etapa de preparação dos dados, o conhecimento e uso de ferramentas e recursos de geoprocessamento, especialmente os SIGs, mostraram-se imprescindíveis, na quase totalidade das tarefas executadas.

Do mesmo modo, a preparação e elaboração dos dados precisam sempre ter, por orientação, os objetivos e as etapas subseqüentes do mapeamento e, nesta acepção, a metodologia mostrou-se consistente, pois não houve, no decorrer do processo, necessidade de retrabalhar etapas ou refazer processos. Todos os dados e mapas produzidos na etapa de preparação foram armazenados sob a forma de "planos de informações" e tabelas associadas em um banco de dados geográfico. A sistematização e organização dos dados foram fundamentais em todas as etapas do mapeamento. Assim sendo, pode-se concluir que em trabalhos que envolvem centenas de arquivos, tabelas e planos de informações, estabelecer, previamente, a estrutura, organização e formas de armazenamento dos dados revela-se crucial, tanto para a otimização das tarefas de mapeamento, quanto pela possibilidade de utilização dos dados em trabalhos futuros.

Em relação às sondagens SPT, também há uma dependência da existência e possibilidade de obtenção dos dados (boletins), já que estas são executadas por empresas privadas, dispondo a prefeitura somente dos boletins das suas próprias obras. Diante disso, deveria ser objetivo das administrações municipais, coletar, armazenar e sistematizar dados acerca das características físicas do seu território. Com este propósito, poderiam ser exigidas, quando do licenciamento das construções, informações sobre propriedades geotécnicas dos terrenos ou a cópia dos boletins de sondagens produzidos, os quais fazem parte da comprovação da segurança das edificações. As metodologias empregadas e os passos percorridos na etapa de preparação mostram-se capazes de produzir e sistematizar os dados necessários para a execução das etapas geral e de semi-detalle do método de mapeamento proposto. Neste sentido, pode-se inferir que estas podem ser tomadas como referências na produção de mapas de suscetibilidade e de aptidão à urbanização, desde

que, evidentemente, sejam considerados o contexto e as características específicas de cada área em estudo.

Na etapa de desenvolvimento dos mapas de suscetibilidade a processos geodinâmicos, a utilização do método AHP, na ponderação da contribuição dos temas envolvidos, auxiliou na redução da subjetividade das escolhas. A combinação linear ponderada dos fatores em ambiente SIG, com o auxílio do método, permitiu a integração dos planos de informações e o mapeamento de diferentes graus de suscetibilidade dos terrenos, através da compensação entre os fatores físico-ambientais empregados e da ordenação hierárquica dos planos, segundo suas importâncias relativas na ocorrência dos fenômenos estudados, com resultados validados por dados históricos e/ou de campo.

A principal dificuldade encontrada na aplicação da análise multicritério refere-se ao fatiamento e à ponderação de pesos dos planos de informações altimetria e declividade. Isto porque embora existam diversas referências na literatura, a definição das classes depende totalmente das características físicas locais. A maior parte da área de estudo possui um relevo plano de baixas variações altimétricas e de declividade. Neste caso, a adoção dos valores de quebra recomendados na literatura ou utilizados em outros trabalhos não permitiu a distinção das variações dos atributos nas áreas da planície. Nestes temas, as referências gerais não se aplicam, havendo a necessidade de se considerar as características específicas de cada área de estudo. Para superar o problema, foram testados diferentes valores de quebra para as primeiras classes, até ser encontrada uma representação adequada ao relevo local e ao fenômeno mapeado. Na definição dos valores de fatiamento, também se procurou superar a limitação que os pesos lineares representam neste tipo de tema (atributos cuja variação é representada pela divisão dos valores em faixas), uma vez que, para haver uma maior aproximação da realidade (influência de determinado valor do atributo na composição das suscetibilidades), as faixas de valores não podem ser linearmente divididas, como se observa em diversos trabalhos de mapeamento com base em análise multicritério.

No concernente aos planos de informações utilizados, importa tecerem-se alguns comentários sobre o uso do solo, cuja influência na ocorrência das inundações e nos processos erosivos revela-se evidente. Baseado em classificação de imagem de satélite, reconhecimento visual e/ou levantamento de campo, o mapa de uso do solo representa o tema em uma determinada data ou período. Ocorre que determinados usos sofrem constantes e rápidas alterações no tempo: a cobertura vegetal, por exemplo, está sujeita à sazonalidade dos usos agrícolas e à remoção (e posterior recobrimento) em virtude de



obras de engenharia de grande extensão (como os loteamentos). Estas e outras alterações representam pontos de inconsistência no mapa de suscetibilidade à erosão laminar, quando este é utilizado sem o devido cuidado. Desta forma, para uma correta interpretação do documento evidencia-se fundamental: a indicação desses pontos; a apresentação do mapa de usos utilizado; a elaboração de um mapa referência do qual o PI "uso do solo" não fez parte, como realizado neste trabalho. Já, no caso da suscetibilidade a inundações, diversos testes indicaram que a sazonalidade da cobertura vegetal, em função do peso, ponderação e compensação entre os atributos, não é determinante do resultado, como é, por exemplo, a impermeabilização do solo. No entanto, também neste último caso, o mapa de uso precisa ser referenciado e consultado.

O mapeamento da etapa intermediária do método progressivo foi desenvolvido por meio da carta de aptidão dos terrenos à urbanização, a qual se constitui em um dos documentos da cartografia geotécnica com maior potencial de uso nos processos de planejamento urbano. A aptidão à urbanização foi produzida preliminarmente, sob a forma de mapa, para o total da zona urbana do município de Pelotas e, posteriormente, detalhada, analisada e comentada para as áreas de crescimento urbano previamente mapeadas (vazios urbanos). Novamente, nesta etapa, a existência de dados topográficos em escala compatível com a de mapeamento foi determinante. A Prefeitura de Pelotas desde 1980 (data do primeiro levantamento aerofotogramétrico), investe na aquisição de dados geográficos, especialmente sob a forma de aerolevantamentos e de imagens de satélite. Entre outros produtos, em 1995 contratou um levantamento aéreo restituído na escala 1:2.000, o qual produziu dados topográficos que já estariam em conformidade com as escalas de mapeamento trabalhadas. Em 2015, um novo aerolevantamento e um perfilamento a laser compatíveis, respectivamente, com as escalas 1:500 e 1:1.000, produziu novos e importantes dados territoriais. O exemplo de Pelotas deveria ser o retrato da realidade dos municípios nacionais, mas não é: em muitos municípios, especialmente os de pequeno porte, a aquisição de dados geográficos é quase nula ou nula. Nestes casos, a escala do mapeamento de aptidão fica restrita à precisão dos modelos numéricos de elevação ou levantamentos sistemáticos disponíveis (como o caso das cartas do exército) ou alcançada através de exaustivo trabalho de campo. Na última situação, é indicada a redução das áreas de mapeamento, para porções do território sujeitas ao crescimento urbano futuro.

Os mapas de suscetibilidade constituíram-se na base inicial para o mapeamento da aptidão: após o aumento de escala e o recorte espacial dos planos de informação usados em suas composições, os processos de produção dos mapas repetiu-se e os mesmos foram re-elaborados na escala adequada. Em relação a este processo cabe destacar duas situações:

(i) em decorrência da geomorfologia da zona urbana de Pelotas, constituídas basicamente por terraços planos de baixa altitude e planícies de inundação igualmente planas, não houve a necessidade da identificação e mapeamento de novas classes geomorfológicas, pedológicas e geológicas, ficando o aumento de escala restrito ao refinamento de seus limites. Tal circunstância pode não ser a realidade em outros contextos fisiográficos nos quais o aumento de escala pode revelar variações significativas no relevo, impondo o mapeamento de novas classes; (ii) a indisponibilidade, para a escala da aptidão, de imagens de satélites com resolução espectral que permitissem o mapeamento do uso do solo, através de classificação supervisionada com resultados aceitáveis, impôs que o mesmo fosse feito através de reconhecimento visual. Esta limitação, aparentemente, é de caráter geral, já que as imagens de satélite (comerciais ou públicas) de maior resolução espacial apresentam baixa resolução espectral.

O método de Dias (1995), utilizado na produção do mapa de estimativas de unidades geotécnicas, escolhido por adequar-se às características regionais da área de estudo e à metodologia proposta, mostrou-se capaz, após as indispensáveis generalizações taxonômicas, adequações e validações (de campo e por meio da prospecções geotécnicas utilizadas), de produzir um plano de informação com classes geotécnicas valoráveis e utilizáveis na composição da aptidão à urbanização. Também, em relação às unidades geotécnicas, constatou-se concluído que as sondagens SPT, largamente utilizadas em trabalhos de mapeamento geotécnico, são fontes de dados que permitem uma caracterização geotécnica adequada dos terrenos, quando o objetivo do trabalho é subsidiar o planejamento urbano, não se mostrando necessários, neste caso, até a escala da aptidão, ensaios laboratoriais. Uma limitação detectada liga-se à inexistência de sondagens em áreas de baixa ocupação urbana. Nesses casos, exige-se, para estas, inferir as propriedades por meio de correlação com os componentes tipológicos comuns a outras áreas ou, não sendo a correlação viável, a realização de novas prospecções.

Assim como no caso das suscetibilidades, a metodologia utilizada para valoração dos atributos, ponderação e cruzamento dos planos de informações mostrou-se apta à produção do resultado esperado: o mapa preliminar de aptidão à urbanização, o qual, estando em conformidade com as características do meio físico local, foi utilizado como base para elaboração da carta de aptidão à urbanização das áreas de disponíveis ao crescimento da cidade. Neste ponto, a metodologia incorpora a análise e simulação do crescimento urbano, com delimitação das áreas físicas e legalmente disponíveis ao crescimento (vazios urbanos) e a definição do potencial de ocupação futura destas áreas. Quanto ao modelo utilizado, a possibilidade de inserção de variáveis, ao longo do processo e ponderação da distribuição

de tensão entre as formas axial, polar e difusa de crescimento, foram determinantes para o resultado obtido (projeção do crescimento entre 2015 e 2040), o qual se mostrou consistente com o processo histórico do crescimento de Pelotas. Ressalta-se que o modelo, baseado na morfologia pretérita e nos mecanismos de produção e reprodução do ambiente (estudados e descritos pelas ciências urbanas), prediz morfologias urbanas futuras prováveis, as quais, obviamente, podem não se concretizarem totalmente. Desta forma, o modelo deve ser usado com a devida cautela. No caso presente: auxílio à definição da ordem de preferência dos vazios urbanos para o mapeamento em escala de detalhe e identificação de prováveis conflitos entre o crescimento e a aptidão à urbanização, em determinadas áreas, o uso do modelo mostrou potencialidade e relevância.

Por fim, ainda em referência à etapa intermediária do método progressivo, a conversão do mapa preliminar em carta de aptidão, apenas para os vazios urbanos, como previsto na metodologia, permitiu uma avaliação mais detalhada dessas áreas, evitando o dispêndio de esforços em análises, caracterizações e recomendações para áreas consolidadas, nas quais a alteração de uso é pouco provável ou muito lenta. Ressalta-se que o mapeamento dos vazios urbanos incluiu, também, as áreas de urbanização não consolidada e não apenas áreas totalmente desocupadas, indo ao encontro do que preconiza Moretti (2017) ao tratar da elaboração e do uso das cartas de aptidão à urbanização e da responsabilidade municipal em sua aplicação.

O trabalho encerra com o levantamento e a análise (no tempo e no espaço) da legislação urbanística da cidade de Pelotas em contraposição à evolução espacial e aos resultados do mapeamento (especialmente a aptidão à urbanização). A análise mostra que apesar dos planos diretores de 1980 e 2008 proibirem a ocupação de áreas sujeitas às inundações e imponham restrições ao uso de área com problemas geotécnicos, as mesmas vem sendo reiteradamente utilizadas para usos tipicamente urbanos, com a construção de edificações de variados portes e tipos. O que poderia parecer o simples descumprimento da legislação urbanística, decorrente do crescimento da cidade informal, na verdade deita raízes na inaplicabilidade dos dispositivos legais, tendo em vista a inexistência de instrumentos técnico-políticos que permitam o regular exercício do "poder de polícia" pela autoridade municipal. Proibições legais instituídas sem uma base técnica e política, que lhes deem sustentação e que orientem a atividade administrativa são, em geral, inexigíveis, tornando-se, desta forma infrutíferas. No caso de Pelotas, a inexistência do mapeamento das áreas suscetíveis a inundações e de regras e critérios técnicos claros que embasem as restrições de uso, explicam, em grande parte a ineficácia do planejamento urbano neste tema. Pode-se, assim, concluir que os mapeamentos de suscetibilidade e aptidão à urbanização

revelam-se inadiáveis, tanto no processo de planejamento, quanto na aplicação dos dispositivos que regulam o uso e ocupação do solo em áreas com restrições de caráter geológico-geotécnico.

Assim sendo, constata-se que os o objetivo principal deste trabalho: "*contribuir com desenvolvimento de instrumentos de auxílio ao planejamento do crescimento sustentável da cidade (...)*", foi alcançado, visto que, tanto a metodologia geral quanto as mais específicas, propostas e utilizadas, mostraram-se capazes de produzir relevantes informações acerca do território da cidade, suas restrições e potencialidades ao uso urbano. A incorporação da análise do crescimento urbano como etapa do processo, produziu resultados que não só otimizaram o processo de mapeamento, reduzindo as áreas de análise, como também permitiram uma melhor delimitação das áreas prioritárias para o mapeamento em escala de detalhe. Por sua vez, a análise do processo de planejamento urbano na cidade de Pelotas com base nos mapas e carta produzidas, apontou para capacidade dos resultados em subsidiar a definição de diretrizes e normas de uso e ocupação do solo. Diante do exposto, infere-se que as questões de pesquisa foram respondidas e as hipóteses confirmadas.

Por fim, a simplicidade e a facilidade de execução dos métodos de mapeamentos e os resultados alcançados indicam sua potencialidade para utilização, parcial ou total, em outras realidades fisiográficas e/ou como base ou parte de novas metodologias. Assim, depreende-se da teoria, da prática e de seus efeitos, que o trabalho constitui-se em uma contribuição ao conhecimento nas áreas da cartografia geotécnica e do planejamento urbano. Serve, também, de alerta a todos os atores envolvidos no processo de planejamento, incluindo a população, sobre o indispensável conhecimento da realidade física para o crescimento e desenvolvimento sustentável da cidade.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, A. E. S. **Mapeamento geotécnico para gestão municipal** - abordagem combinando três métodos distintos e sua aplicação em Analândia (SP). 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Escola de Engenharia, USP, São Carlos, 2007.
- ABREU, A. E. S, AUGUSTO FILHO, O. Mapeamento geotécnico para subsidiar a gestão municipal de Analândia - SP com base nas abordagens da EESC/USP, IPT e UNESP- Rio Claro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 6, 2007, Uberlândia . **Anais...** Uberlândia: ABGE, 2007.
- ABUCHAIN, M. R. **O Plano Diretor e a Sustentabilidade urbana: O III Plano Diretor de Pelotas, Lei 5502/2008**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo. FAUrb. UFPel. Pelotas, 2012.
- ALFONSIN, B. de M. "Regularização fundiária: justificação, impactos e sustentabilidade". In: FERNANDES, E. (org.). **Direito urbanístico e política urbana no Brasil**. Belo Horizonte: Del Rey, 2001.
- ALMEIDA, C. M. D. **Modelagem da dinâmica espacial como uma ferramenta auxiliar ao planejamento**: simulação de mudanças de uso da terra em áreas urbanas para as cidades de Bauru e Piracicaba (SP), Brasil. 2003. Tese de Doutorado, INPE. São José dos Campos, 2003, 351 p.
- ALMEIDA, C. M.; MONTEIRO, A. M. V.; CÂMARA, G. Modelos de Dinâmica Urbana: Conceitos, Derivação de Relações, Calibração Exemplos. Curso: "Modelagem Ambiental e Modelos Dinâmicos de Uso e Cobertura do Solo. in: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, **Anais do ...** Belo Horizonte, 2013.
- ANDRADE, S. L.; FERREIRA, V. O.; SILVA, M. M. Elaboração de um mapa de risco de inundação da bacia hidrográfica do córrego São Pedro, área urbana de Uberlândia-MG. **Cadernos de Geografia**. v. 24, n. 41, 2014. UCMG, Minas Gerais, 2014.
- ANDRADES, R. F. **Mapeamento geotécnico preliminar em escala de semi-detalle (1:25.000) da área de expansão urbana de Uberlândia-MG**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2005.
- AREJANO, T. B. **Geologia e evolução holocênica do sistema lagunar da "Lagoa do Peixe", litoral médio do Rio Grande do Sul, Brasil**. 2006. Tese de Doutorado (Doutorado em Geociências), Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.
- BAIROCH, P.; GOERTZ, G. Factors of Urbanisation in the Nineteenth Century Developed Countries: A Descriptive and Econometric Analysis. **Urban Studies**, 1985. Disponível em <[http://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/68656/10.1080\\_00420988620080351.pdf](http://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/68656/10.1080_00420988620080351.pdf)>. Acesso em 05 jun. 2015.
- BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C.; AYUP-ZOUAIN, R. N. Cronoestratigrafia da Bacia de Pelotas: uma revisão das sequências deposicionais. **Gravel**, v.6. n.1. p. 125-138, 2008.

BARROSO, J. A.; CABRAL, S. 30 anos de Geologia de Engenharia na UFRJ: visões do passado e do futuro. **Anuário do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, v. 20. Anual. 1997.

BASTOS, C. A. B. **Mapeamento e Caracterização Geomecânicas das Unidades Geotécnicas de Solos Oriundos dos Granitos, Gnaisses e Migmatitos de Porto Alegre**. 1991. 155f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: 1991

BASTOS, C. A. B.; DIAS, R. D.; VALENTE, A. L. S. Mapa Geotécnico de Solos. In: **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1998, p. 45-46.

BASTOS, C. A. B.; ALVES, M. L. Mapeamento geotécnico da planície costeira do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 2. Encontro Regional de Geotécnica e Meio Ambiente, 1. 1996, São Carlos, SP. **Anais...** São Carlos, 1996. p. 19-23.

BASTOS, C. A. B. **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1999.

BASTOS, C. A. B. Estudos recentes conduzidos na FURG sobre solos alternativos para pavimentação econômica e obras de terra na Planície Costeira Sul. **Revista Teoria e Prática na Engenharia**, n. 4, 2004. Ed. Dunas, Rio Grande, 2004.

BASTOS, C. A. B. *et al.* Avaliação da susceptibilidade e do potencial à erosão laminar dos solos da Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão e Complexo Lagunar (SC). **Revista Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n.3, 2003. Revista On-line. Disponível em: <<http://www.editoradunas.com.br/revistatpec/>>. Acesso em: abr 2017.

BASTOS, G. **Estruturação de banco de dados a partir do mapeamento geotécnico aplicado à região de Ribeirão Preto (SP)**. 2005. 306f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

BATISTA, P. H. L. *et al.* Carta geotécnica de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais: instrumento de suporte ao planejamento territorial com apoio do Ministério das Cidades. In: 15º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. Bento Gonçalves, RS. **Anais...** Bento Gonçalves: ABGE, 2015. 1 CD-ROM

BELONI, A. V.; GOMES, F. S.; QUEVEDO, L. A. **Investigação geotécnica dos solos de Pelotas usando o SPT como ferramenta de análise**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil). Universidade Católica de Pelotas, Pelotas, RS, 2014.

BENÉVOLO, L.. **História da arquitetura moderna**. São Paulo: Perspectiva, 1976.

BITAR, O. Y. *et al.*, **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000** (livro eletrônico): nota técnica explicativa. 2014. BITAR, O. Y (coord). São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Brasília, DF. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2014.

BRASIL. **Estatuto da Cidade: guia para implementação pelos municípios e cidadão**. Brasília: Câmara dos Deputados. Centro de Documentação e Informação, Coordenação de Publicações. 2º Edição. Brasília/DF, 2002.

BRASIL. Curso: **Reabilitação Urbana com foco em Áreas Centrais**. Módulo 1. Ministério da Cidades. Programa Nacional de Capacitação das Cidades. Brasília/DF, 2001.

BRASIL. Resolução CONAMA 001 de 16 de janeiro de 1986. Diário Oficial da União de 17 de fevereiro de 1986.

BRESSANI, L. A.; COSTA, E. A. Mapeamento geotécnico: suscetibilidade, perigo, vulnerabilidade técnica, risco e risco instalado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 14., 2013, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABGE, 2013. 1 CD-ROM

CABALLERO, M. Evolución Histórica de los Mapas Geotécnicos. **Boletín Geológico y Minero**, Espanha, Tomo 84, Fascículo I, p: 55-68. Enero e Febrero, 1973.

CALDERANO FILHO, B, *et al.* Suscetibilidade dos solos à erosão na microbacia do Córrego Fonseca, região serrana do estado do Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, 7, 2014. **Anais do ...** Aracaju: Esgeo, 2014.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução. In: INTRODUÇÃO à Ciência da Geoinformação. **INPE**. São José dos Campos: INPE, 2003. p.1-5. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap1-introducao.pdf>>. Acesso em: 29 jan. 2015.

CÂMARA, G; FELGUEIRAS, C. A. Modelagem numérica de terreno. In: INTRODUÇÃO à Ciência da Geoinformação. **INPE** [online], 2003. p.1-5. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap7-mnt.pdf>>. Acesso em 29 jan. 2015.

CÂMARA, G. Representação computacional de dados geográficos. **INPE** [online], 2005, 42p. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/livros/bdados/capitulos.html>>. Acesso em 29 jan. 2015.

CÂMARA, G. **Modelos, Linguagens e Arquiteturas para Bancos de Dados Geográficos**. Tese de Doutorado. Doutorado em Computação Aplicada. São José dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 1995.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; MEDEIROS, J. S. Representações Computacionais do Espaço: Um Diálogo entre a Geografia e a Ciência da Geoinformação. **INPE** [online], 2002. Disponível em <<http://dpi.inpe.br/geopro/trabalhos/epistemologia.pdf>>. Acesso em 14 jun. 2015.

CAMARGO, M. N.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J.H. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. **Boletim Informativo da SBCS**, Campinas, v.12, p.11-33, 1987.

CAMARGO, R. A. **Avaliação da suscetibilidade à erosão e proposição de zoneamento estratégico com vistas a à suscetibilidade da bacias hidrográfica do Rio Piranga, MG**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa (MG): 2012.

CARDOSO. A. Planejamento urbano no Brasil: paradigmas e experiências". **Espaço e Debate**. São Paulo, n. 37, p.51, jun./set 1994.

CARDOSO, F. S. **Análise das áreas suscetíveis à inundações e escorregamentos na bacia do Rio Forquilhas, São José – SC**. 2009. 226 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

CARVALHO, A. B. P.; OZÓRIO, C. P. Avaliação Sob os Banhados no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v.1, n.2, p. 83 a 95, 2007. Disponível em: <[http://ww1.unilasalle.edu.br/rbca/v2\\_06.pdf](http://ww1.unilasalle.edu.br/rbca/v2_06.pdf)> Acesso em: 30 ago. 2015.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. S.l. 2005. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: 08 jun. 2015.

CASTRO JÚNIOR, P. R.; SALOMÃO, F. X. T.; BORDEST, S. M. L. Mapeamento Geomorfológico da Região de Cuiabá. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA / REGIONAL CONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY, 7, 2006, Goiania **Anais ... Goiania/GO**, 2006.

CERRI, L. E. S. Carta Geotécnica: contribuições para uma concepção voltada as necessidades brasileiras. In CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 6, 1990. Salvador. **Anais...** Salvador: ABGE, 1990. v. 1, pg. 315.

CERRI, L. E. S. *et al.* Cartas e mapas geotécnicos de áreas urbanas: reflexões sobre as escalas de trabalho e proposta de elaboração com o emprego do método de detalhamento progressivo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 8, 1996. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABGE, v.2, p. 537-548.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Escala 1:750.000. Geobank, 2013. Disponível em: <<http://geobank.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 20/10/2016.

COSTA, C. S. M. **Contributo para a modelação da suscetibilidade à erosão por sulcos e ravinhas na Quinta de S. Luiz (Tabuaço)**. Dissertação (Mestrado em Sistema de Informações Geográficas e Ordenamento do Território. Faculdade de Letras, Universidade do Porto. Porto, 2016.

COUTINHO, R. Q.; MACEDO, E. S.; CARVALHO, C. S. Introdução. In: COUTINHO, R.Q. (coord. geral e org.) **Parâmetros para a cartografia geotécnica e diretrizes para medidas de intervenção de áreas sujeitas a desastres naturais**. Brasília, Ministério das Cidades/ GEGEP/UFPE. 2013. Cap.1, 14p.

CUNHA, N. G; SILVEIRA, R. J. C. **Estudo dos solos do município de Pelotas**: EMBRAPA/CPACT. CAPACT N° 12/96. Pelotas: Ed. UFPel, 1996a. 50p.

CUNHA, N. G; SILVEIRA, R. J. C. **Estudo dos solos do município de Capão do Leão**. EMBRAPA/CPACT. CAPACT N° 11/96. Pelotas: Ed. UFPel, 1996b. 54p.

CUNHA, N. G; SILVEIRA, R. J. C. **Estudo dos solos do município de Rio Grande**: EMBRAPA/CPACT. CAPACT N° 16/96. Pelotas: Ed. UFPel, 1996c. 76p.

DAMÉ, R. C. F., et al. Vazão de projeto resultante de dois eventos extremos de precipitação na localidade de Pelotas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18, 2009. **Anais ...** Campo Grande: ABRH, 2009.



De MIO, G.; GANDOLFI, N. - Cartografia Geotécnica da Região de Mogi-Guaçu, São Paulo. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, 1995, vol. especial, pg. 99 a 105,

DEÁK, C., SCHIFFER, S. R.. **O Processo de Urbanização no Brasil**. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 1999.

DELANEY, P. J. V. Fisiografia e Geologia de Superfície da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. **Publicação especial da Escola de Engenharia da UFRGS**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia., 6. Porto Alegre, 1965.

DEMARQUI, E. N. **Modelagem de Dados Geográficos**. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Mato Grosso. Disponível em: <[http://www.unemat-netbr/prof/foto\\_p\\_downloads/sig\\_aula7.pdf](http://www.unemat-netbr/prof/foto_p_downloads/sig_aula7.pdf)>. Acesso em: 24 ago. 2015.

DIAS, R. D. Mapeamento da região metropolitana de Porto Alegre. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 2; ENCONTRO REGIONAL DE GEOTECNIA E MEIO AMBIENTE, 1. 1996, São Carlos, SP. **Anais ....** São Carlos: ABGE, 1996. p- 71-78;

DIAS, R. D.; SANTOS, G. T.; LIMA JR, C. O. Mapeamento das unidades geotécnicas da bacia do Itacorubi - Florianópolis-SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA 2, Encontro Regional de Geotecnia e Meio Ambiente, 1. 1996, São Carlos, SP. **Anais...** São Carlos: ABGE 1996. p- 71-78;

DIAS, R. D. Proposta de Metodologia de Definição de Carta Geotécnica Básica em Regiões Tropicais e Subtropicais. In: **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, p.51-55, 1995.

DIAS, R. D.; MILITITSKY J. Metodologia de Classificação de Unidades e Perfis Geotécnicos Desenvolvida na UFRGS. **Revista Solos e Rochas**. v.17, n. 2, 1994.

DISCONZI, P. B. *et al.* Levantamento Ambiental do Pontal da Barra, Pelotas-RS, Para Estudos de Impactos. In: XVII Congresso de Iniciação Científica e X Encontro de Pós-Graduação, 2008. Pelotas. **Anais...** Pelotas: UFPel, 2008.

DINIZ, N. C. Cartografia geotécnica por classificação de unidades de terreno e avaliação de suscetibilidade e aptidão. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, v.2, n.1, 2012. p. 29-77

DINIZ, N. C; FREITAS, C. G. L. (coord.). Cartografia geotécnica. In: COUTINHO, R.Q. (coord. geral e org.) **Parâmetros para a cartografia geotécnica e diretrizes para medidas de intervenção de áreas sujeitas a desastres naturais**. Brasília, Ministério das Cidades/ GEGEP/UFPE. 2013.Cap.7, 39p.

DSG. EXÉRCITO BRASILEIRO. Portaria 031 do Departamento de Ciência e Tecnologia do Exército do Brasil. Norma da especificação técnica para aquisição de dados geospaciais vetoriais de defesa da força terrestre. **Portaria**. EB80-N-72.003. Brasil, 2016.

DURO DIAS, R.; Os códigos de construções e o desenvolvimento urbano de Pelotas. **Ambito Jurídico**. Rio Grande, 2017. Disponível em <[ambito-juridico.com.br](http://ambito-juridico.com.br)>. Acesso em 24 Jul. 2017.

EASTMAM, J. R. **Idrisi for windows - User's Guide**. Version 2.0, Clark University, 1997.

EASTMAN, J. R. Decision support: decision strategy analysis. In: CLARK UNIVERSITY (Ed.). **Idrisi 32 release 2: Guide to GIS and image processing**. Worcester: Clark Labs, v.2, 2001. p.22

ECHENIQUE, M. Modelos: una discussion. In. MARTIN, L.; MARCH, L.; ECHENIQUE, M. **La Estructura del Espacio Urbano**. Barcelona: Ed. GG, 1975.

ESTEVAM SILVA, A. R.; REHBEIN, M. O. Mapeamento e caracterização de padrões e formas semelhantes de relevo: levantamento de dados morfológicos de ocorrência centro-nordeste do Município de Pelotas. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, n.25, 2015.

ESTIVALET, B. H. Modelos, planos e realizações urbanísticas em Porto Alegre. **Arquitetura Revista**. Porto Alegre, v.2 n.2, 2006.

FARION, S. L. R. **Crescimento urbano e as alterações ambientais no município de Tramandaí - litoral norte do estado do Rio Grande do Sul**: análise geográfica com ênfase nas diferenciações espaciais. 2007. 151f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.

FELL, R. *et al.* Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. **Engineering Geology**, v. 102, p. 83-111, 2008.

FERNANDES, E. Estatuto da Cidade, Mais de 10 Anos Depois. **Revista da UFMG**, Belo Horizonte, v. 20. Jan/Jun. 2013.

FERNANDES, M. C.; MENEZES, P. M. L. Comparação entre métodos para geração de MDE para a obtenção de observações em superfície real no maciço da Tijuca-RJ. **Revista Brasileira de Cartografia** n. 57 v.02, 2005. Disponível em <<http://www.lsie.unb.br/rbc/index.php/rbc/issue/archive>>. Acesso em: 15 mar. 2015.

FERNANDES, N. S. **Mapeamento de áreas suscetíveis à inundação em Santa Maria/RS**. Dissertação. Mestrado em Geografia. Program de Pós-Graduação em Geografia. UFSM. Santa Maria/RS, 2016.

FERREIRA DOS SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: Teoria e Prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. p. 16-56.

FERREIRA, J. S.; MOREIRA, T. A., Governança urbana no contexto das cidades subdesenvolvidas. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE URBANISMO, 9., 2000, Recife. **Anais...** Recife: UFPe, 2000, p. 56.

FERREIRA, G. L. B. V; FERREIRA, N. B. V. Direito à Cidade: O Papel do Planejamento Urbano. **Revista Argumenta**, nº 14, 2011. UNESP, Jacarezinho/ SP, 2011.

FISHER, A. **Morfodinâmica do "Saco do Laranjal": costa noroeste do estuário da Laguna dos Patos - RS**. 2005. 151 p. Dissertação (mestrado em Engenharia Oceânica). Programa de pós-graduação em Engenharia Oceânica. Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande, 2005.

FOLLE, D. **Análise e aplicações da geoestatística no contexto geológico-geotécnico urbano**. Tese (Doutorado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais. UFRGS, 2009.

FORKUOR, G.; MAATHUIS, B. Comparcion of SRTM and ASTER derived digital elevation models over two regions in Ghana - **Implications for Hydorological and Environmental Modeling. Studies on Environmental and Applied Geomorphology**, Dr. Tommaso Piecentine (Ed.). InTech, 2012.

FRANCO, G. B.; MARQUES, E. A.; CALIJURI, M. L.; GOMES, R. L. Cartografia Geotécnica: estágio atual do conhecimento. **Caminhos da Geografia**, 2010. revista on line. ISSN 1678-6343. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/16134>>. Acesso em 15 out. 2014.

FRAGOSO CESAR, A. R. S. *et al.*. O Batólito de Pelotas (Proterozóicos superior/Eo-paleozóico) no Escudo do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, Goiânia. **Anais...** SBG, v.3, 1986, p.1322-1343

FREIRIA, S. C. **Expansão Urbana e Riscos Naturais, O caso de Coimbra**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Letras, Universidade de Coimbra. Coimbra, 2009.

FUCKNER, M. A. Aplicações do sensoriamento remoto no estudo do crescimento urbano. **INPE** - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP. Disponível em: <[http://www.dsr.inpe.br/geu\\_fuckner.htm](http://www.dsr.inpe.br/geu_fuckner.htm)>. Acesso em: 20 jan. 2015.

GALDINO DA SILVA, G. *et al.* Compartimentação geomorfológica simplificada para a elaboração da carta geotécnica de aptidão à urbanização do município de São Bernardo do Campo, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 15, 2015, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: ABGE, 2015. 1 CD-ROM.

GAROFALO, D. F. T.; LIESENBERG, V. Análise comparativa da informação altimétrica presente nos modelos digitais de elevação ASTER GDEM1, SRTM e TOPODATA. In Simpósio BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, XVII, 2015, João Pessoa/PB. **Anais do ...** INPE, João Pessoa/PB, 2015.

GOVEIA SOUZA, C. R. Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. São Paulo, Ano 6, n.1, 2005. p.45-61.

GONÇALVES, A. L. **Indicadores de dispersão urbana**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Planejamento Urbano), Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

GUIMARÃES, N.. O direito urbanístico e a disciplina da propriedade. In: **Jus Navigandi**, Teresina, a. 8, n. 235, fev. 2004. Disponível em <<http://www1.jus.com.br/doutrina/texto.asp?id=4884>>. Acesso em: 06 ago. 2014.

GUSMÃO, J. S. *et al.* Análise hidrológica de um evento de precipitação na cidade de Pelotas- RS no ano de 2015. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 11, 2015. **Anais do ...** ABRH. Brasília, 2015.

GUTH, P. L. Geomorphometric comparison of ASTER GDEM and SRTM. In: ASPRS/CaGIS 2010 FALL SPECIALTY CONFERENCE, 2010, Orlando. **Anais da ... ASPRS/CaGIS**, Orlando, Flórida, 2010.

HANSMANN, H. Z., **Descrição e Caracterização das Principais Enchentes e Alagamentos de Pelotas**. 2013. 61p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitarista). Curso de Engenharia Ambiental e Sanitarista, Centro das Engenharias, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2013.

HIGASHI, A. R. **Metodologia de uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras através de SIG com base no comportamento geotécnico e ambiental**. 2006, 486f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

HIGASHI, R. R. ; DIAS, R. D. . ; MARTINS, K. P. . Utilização de um SIG no desenvolvimento de um Banco de Dados Geotécnico do norte do Rio Grande do Sul . In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 10, 2002, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: ABGE, 2002.

HILLIER, B.; HANSON, J. **The social logic of space**. Cambridge: Cambridge University Press, 1984. 367 p. Disponível em: <<http://deepblue.lib.umich.edu>>. Acesso em 05 abr. 2015.

HORN FILHO, N. O. ; PORTO FILHO, E.; FERREIRA, E. Diagnóstico geológico-geomorfológico da planície costeira adjacente à enseada dos Currais, SC, Brasil. **Gravel**, Porto Alegre, v. 2, p. 25-39, 2004.

IMAGENS GOOGLE. Disponível em <<http://diariodamanhapelotas.com.br/site/enchente-lei-proibe-construcao-em-area-de-risco/>> Acesso em: 05 nov. 2015.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY – IAEG. **Engineering geological maps: a guide to their preparation**. Paris: Unesco Press, 1976.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Noções Básicas de Cartografia**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 10 out. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Geomorfologia, Folhas SH.22-Y-D e SH.22-Y-C**. Brasil, 2003. Escala: 1.250.000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Mapa de unidades de relevo do Brasil**. Folha única. Brasil, 2006. Escala: 1:5.000.000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 01 mai. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Levantamento dos Recursos Naturais: Folha SH.22 Porto Alegre e parte das Folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim**. Volume 33. Rio de Janeiro: IBGE, 1986.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa de Informações Básicas Municipais. Perfil dos Municípios Brasileiros 2009**. IBGE. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: << <http://www.ibge.gov.br>> Acesso em 01 mai. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de geomorfologia** / IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. – 2. ed. - Rio de Janeiro : IBGE, 2009. 182 p. Disponível em< <http://biblioteca.ibge.gov.br>>. Acesso em: 01 mai. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. SPRING: **Tutorial de Geoprocessamento**. 2006. Disponível em: <[www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/index.html](http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/index.html)>. Acesso em: 30 ago. 2014.

JULIÃO, R. P. (Coord.) *et al.* **Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de base municipal**. Lisboa: **Autoridade Nacional de Protecção Civil**; Direcção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano; Instituto Geográfico Português, 2009. Disponível em: <[http://www.proteccaocivil.pt/Documents/guia\\_metodologico\\_SIG.pdf](http://www.proteccaocivil.pt/Documents/guia_metodologico_SIG.pdf)>. Acesso em 30 abr. 2015.

KRAFTA, R. **Modelling intra-urban configurational development**. Environment and Planning B: Planning and Design, London, 21, 1994. 67-82.

LANDAU, E. C.; GUIMARÃES, D. P. Análise comparativa entre os modelos digitais de elevação ASTER, SRTM e TOPODATA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, XV, 2011, Curitiba/PR. **Anais do ....** INPE, Curitiba/PR, 2011.

LEITE, M. E.; ROCHA, A. M. Mapeamento da suscetibilidade à inundação em áreas urbanas: o caso da cidade de Montes Claros-MG. **Revista Geosul**, v.31, n. 62, 2016. Florianópolis, 2016.

LEME, M. C. S. A formação do pensamento urbanístico no Brasil: 1895-1965. In: LEME, M. *et al.* (org.) **Urbanismo no Brasil 1895-1965**. São Paulo: Studio Nobel/FAU USP/FUPAM, 1999.

LIMA, G. F. **Avaliação das áreas de risco de inundação no município de Pelotas, RS: Uma proposta metodológica**. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da UFPel. Pelotas, 2016.

LIMA, M. M. **Mapeamento da suscetibilidade à inundação na bacia do Arroio do Salso, Porto Alegre-RS**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRGS. Porto Alegre, 2010.

LIU, Y. **Modelling urban development with geographical information systems and cellular automata**. Boca Raton, EUA: CRC Press, 2009

LOLLO, J. A. O. **Uso da Técnica de Avaliação do Terreno no Processo de Elaboração do Mapeamento Geotécnico: Sistematização e Aplicação na Quadricula de Campinas**. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia) Escola de Engenharia. Universidade de São Paulo. São Carlos, 1996. 250 p.

LOPES, M. S; SALDANHA, D. J. Análise de vulnerabilidade natural à erosão como subsídio ao planejamento ambiental do oeste da bacia hidrográfica do Camaquã - RS. **Revista Brasileira de Cartografia**, n.68/9. Rio de Janeiro: 2016, p.1689-1708.

MARQUES, H. G. *et al.* Comparação entre os modelos de elevação SRTM, TOPODATA e ASTER na delimitação automática de rede de drenagem e limite de bacia hidrográfica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, XV, 2011, Curitiba/PR. **Anais do ...** INPE, Curitiba/PR, 2011

MARTH, J. D., KOESTER, E., ARNDT. A. L. Mapa Geológico-Geomofológico do Município de Pelotas, RS. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 17., 2008, Pelotas. **Anais...** Pelotas: UFPel, 2008. p. 1-4.

MARTINI, L. C. *et al.* Avaliação da suscetibilidade a processos erosivos e movimentos de massa: decisão multicriterial suportada em sistema de informações geográficas. **Geologia USP. Série Científica**, v.5, n.2. São Paulo, 2006.

MATULA, M. Principles and types of engineering geological mapping. Report of the omission on engineering geological mapping. **Bulletin the International Association of Engineering Geology**, 24:227-234. 1976.

MEIRELES, H. L.. **Direito municipal brasileiro**, 12. ed. São Paulo: Malheiros, 2001.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Capacitação em mapeamento e gerenciamento de risco**. [S.l.]. Brasília, 2006. Disponível em: <[http://www.ceped.ufsc.br/wp-content/uploads/2004/01/mapeamento\\_grafica.pdf](http://www.ceped.ufsc.br/wp-content/uploads/2004/01/mapeamento_grafica.pdf)>. Acesso em: 30 abr. 2015.

MIRANDA, T. C. **Mapeamento das Unidades Geotécnicas e Desenvolvimento de um Sistema de Informações Geográficas para Área de Abrangência da Rodovia BR-101/RS**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, UFRGS. Porto Alegre, 2008.

MONTE-MÓR, L. R., As Teorias Urbanas e o Planejamento Urbano no Brasil. **CEDEPLAR**, Universidade Federal de Minas Gerais, 2008. Disponível em < [www.ufpa.br/epdir/](http://www.ufpa.br/epdir/)>. Acesso em: 05 ago. 2014.

MORAES, M. F.; ALVARENGA, A. S. Utilização de imagens LANDSAT -8 para caracterização da cobertura vegetal. **Mundo Geo**, Revista On-line. Disponível em: <[www.http://mundogeo.com/blog/2014/06/10/](http://mundogeo.com/blog/2014/06/10/)>. Acesso em 28 de abril de 2017.

MORETTI, R. S. Responsabilidade Municipal na Aplicação da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização. In: 1º Workshop do Comitê Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 2017. **Apresentação no.....** Universidade Federal do ABC, São Bernardo do Campo, 2017.

MOURA. A. C. M., Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritério. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007.

MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. 2.ed. Belo Horizonte: Autora, 2005. 294p.

MULLER, C. R.; **Avaliação da suscetibilidade a inundações utilizando geotecnologias para a Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira- Joenville/SC**. Dissertação de Mestrado. Mestrado Profissional em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental. Universidade do Estado de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

- NAKAMURA, J. C. S.; NOVO, E. M. L. M. Mapeamento da mancha urbana utilizando imagens de média resolução: sensores CCD/CBERS2 e TM/Landsat 5 – estudo de caso da cidade de Rio Branco – Acre. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005. Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p.3843-3850.
- NAKAZAWA, V. A.; FREITAS, C. G. L. de & DINIZ, N. C. **Carta Geotécnica do Estado de São Paulo. São Paulo: IPT**, v. 1 e 2, 1994. 22p.
- NAKAZAWA, V.A.; *et al.* Cartografia geotécnica: a aplicação como pressuposto. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2, 1991, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBG/SP-RJ, 1991. p.329-336.
- NAMUR, M.;BOEIRA, J. G. Reflexões sobre o papel do Planejamento Urbano no Brasil. in: XI Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional - ANPUR, 2005. **Anais...** ANPUR, Salvador, 2005.
- NÓBREGA, M. T.; GASPARETTO, N. V. L.; NAKASHIMA, P. Metodologia para cartografia geotécnica de Umuarama-PR, Maringá, **Boletim de Geografia**. Ano 10. N. 1, p. 05-10, 1992
- OLIVEIRA, D. A. M. Discurso e Planejamento Urbano no Brasil. **Revista Geográfica da América Central**. Número Especial EGAL, 2011. EGAL, Costa Rica, 2011.
- ORLANDINI, R. **Estudo do comportamento geomecânico de perfis típicos de solos do município de Novo Hamburgo visando o mapeamento geotécnico**. Porto Alegre, 1991. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1991.
- PACHECO, S. M. F. M.; OLIVEIRA R., Cartografia Geotécnica: Aplicação ao Planejamento Urbano e Gestão Ambiental voltados às necessidades Brasileiras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 3, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABGE, 1998.
- PAULA, J. P. L., CERRI, L. E. S. Carta geológico-geotécnica de área para parcelamento urbano do solo no Município de Rio Claro (SP), na escala 1:10.000. In: PEJON, O. J.; ZUQUETE, L. V. (eds.) **Cartografia geotécnica e geoambiental. Conhecimento do meio físico: base para a sustentabilidade**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 5, 2004. São Carlos: Suprema Gráfica Editora, 2004.
- PELOGGIA A. U. G. Deve Haver um Método para a Cartografia Geotécnica? Discussão Metodológica acerca da Cartografia Geotécnica em algumas de suas Modalidades mais Difundidas. **Revista Brasileira de Geociências** 27(2), p. 199-206, 1997.
- PELOTAS. **Plano Diretor de Pelotas**. Porto Alegre: Orplan – Organização e Planejamento, 1968.
- PELOTAS. **Mapas Plano Diretor de Pelotas**. Levantamento - Maio de 1978. Pelotas: Prefeitura Municipal, 1978.
- PELOTAS. Decreto 4.629 de 07 de maio de 2004. Declara a existência de situação anormal, caracterizada como situação de emergência. **PMPel**: Disponível em: <[www.pelotas.com.br](http://www.pelotas.com.br)>. Acesso em: abril de 2017.

PELOTAS. Lei nº 5.502, de 11 de setembro de 2008. Institui o III Plano Diretor de Pelotas. **PMPel**: Disponível em: < <http://www.pelotas.com.br>>. Acesso em: 15 ago. 2015.

PENCK, W. **Morphological Analysis of Land Forms**. Macmillan and Co., London, 1953.

PEREIRA, T. A. J.; NERO, M. A. Análise de normas de controle de qualidade posicionl em cartografia ao redor do mundo: exemplos atuais de alguns países. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIA GEODÉSICA E TECNOLOGIA DA GEOINFORMAÇÃO, IV, 2012, Recife/PE. **Anais do ... Recife/PE, 2012.**

PHILIPP, R. P. **A evolução Geológica e tectônica do Batólito de Pelotas no Rio Grande do Sul**. São Paulo. 255p. Tese (Doutorado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998

PINESE JÚNIOR, J. F.; RODRIGUES, S. C. O Método de Análise Hierárquica - AHP - Como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Piedade (MG). **Revista do Departamento de Geografia**. Departamento de Geografia - FFLCH, USP, v.23, 2012. São Paulo, 2012.

PIUMETTO, M. Conceptos básicos de Sistemas de Información Geográfica. In: **Sistemas de Información Geográficas aplicados a Estudios Urbanos**. Disponível em: < <http://lincolninst.edu/education>>. Acesso em: 20 mar. 2014.

POLIDORI, M. C. **Crescimento urbano e ambiente** – um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade. 2004. Tese (Doutorado em Ecologia) Programa de Pós-graduação em Ecologia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

PONS, N. A. D. **Levantamento e diagnóstico Geológico-Geotécnico de áreas degradadas na cidade de São Carlos - SP**, com auxílio de Geoprocessamento. Tese (Doutorado em Geotécnia). Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2006.

PRANDINI, L. P., *et al.*, Cartografia Geotécnica nos Planos Diretores Regionais e Municipais. In: BITAR, O. Y (Coord. Geral). **Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente**, São Paulo: ABGE/IPT, 1995. p. 187-202.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PELOTAS - PMPel. **Pelotas, história**. Disponível em: <<http://www.pelotas.com.br>>. Acesso em 03 mar. 2015.

RAFAELI, L.; MÜLLER, C. J. **Estruturação de um Índice Consolidado de Desempenho Utilizando o AHP**. Produção, v.14, n.2, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v14n2/12.pdf>>. Acesso em: 09 mar. 2017.

RAMGRAB, G. E., WILDNER, W. **Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil** - PLGB: Pedro Osório. SH 22-Y-C. Estado do Rio Grande do Sul, escala 1:250.000. Brasília. CPRM, 2000.

RAMOS, F. R., CÂMARA, G., MONTEIRO, A. M. V. Territorios Digitais Urbanos. In: ALMEIDA, C. M.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. (Org. ) **GEOINFORMAÇÃO em urbanismo: cidade real x cidade virtual**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. p. 34-53.

RIGATTI, D. Loteamentos, Expansão e Estrutura Urbana. **Relatório Final de Pesquisa**. Programa de Pós-graduação em Urbanismo, FAU, UFRGS. Porto Alegre, 2001.



RODRIGUES FILHO, L. C. S. S. Bacias hidrográficas: nova gestão de recursos hídricos. **BNDES**, Assessoria Especial do Meio Ambiente – Área de Planejamento. Brasília: BNDES, 1998.

RODRIGUES, M. Geoprocessamento um retrato atual. **Fator Gis**. Sagres Cartografia e Editora, Curitiba/PR, 1993, Ano 1, nº2m p. 20-23

RODRIGUES, V. P. **Mapeamento geotécnico como base para o planejamento urbano e ambiental: Município de Jaú/SP**. Dissertação (Mestrado em Geotécnia). Escola de Engenharia, USP, 2008.

RODRIGUES, V. P.; AUGUSTO FILHO, A. Mapeamento geotécnico do perímetro urbano e sua área de expansão no município de Jaú-SP: base para o planejamento urbano e ambiental. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 6, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: ABGE, 2007. p. 725-740.

ROLNIK, R. . Planejamento urbano nos Anos 90: novas perspectivas para velhos temas. In: Luís Ribeiro; Orlando Júnior (Org.). **Globalização, Fragmentação e Reforma Urbana**. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1994.

ROLNIK, R., *et al.* 10 anos do Estatuto da Cidade: das lutas pela Reforma Urbana às cidades da Copa do Mundo. In: RIBEIRO, A.C.T; VAZ, L.F.; SILVA, M.L.P.. (Org.). **Quem planeja o território? Atores, arenas e estratégias**. 1 ed. Rio de Janeiro: Letra Capital/ANPUR, 2012, v. -, p. 87-104.

ROSA, M. **Geografia de Pelotas**. Pelotas: UFPel, 1985. 333p.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia Aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, FFLCH, USP, São Paulo, n ° 16, 2005.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: Ambiente e Planejamento**. Sao Paulo: Contexto, 1990. 85p

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 6, p. 17-29, 1992.

ROSS, J. L. S. Análises e sínteses na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, FFLCH, USP, São Paulo, n ° 9, 1995.

ROSS, J. S. Geomorfologia aplicada aos EIA-RIMAs. In: A. Guerra, & S. Cunha, **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

ROTARY CLUB PELOTAS NORTE. Saneamento básico na cidade de Pelotas: situação atual e prioridades. **Relatório de consultoria**. Rotary Club Pelotas Norte. Pelotas: ROTARY, 2001.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In Earth Resources Tecnology Satellite- 1, Symposium, 3, 1973. **Anais do ...** Proceedings. Washington, 1973, v.1, Sec. A, p. 309-317

SAATY. T. H. A scaling method form priorities in hierarquical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v.15, n. 3, p. 234-281, 1997.

SABOYA, R. **Sintaxe Espacial**. Disponível em: <<http://www.urbanidades.arq.br>>. Acesso em jun. 2015.

SABOYA, R. **Urbanismo e Planejamento Urbano do Brasil – 1875 a 1992**. Disponível em: <[www.urbanidades.arq.br](http://www.urbanidades.arq.br)> 2008. Acesso em: 07 ago. 2014.

SAOLOMONI, G. F. **O crescimento urbano por extensão e suas repercussões morfológicas em estruturas urbanas: estudo de caso: Santa Maria-RS**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional). Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional. UFRGS. Porto Alegre, 2008.

SANCHES, I. D. *et al.* Análise comparativa de três métodos de correção atmosférica de imagens Landsat5–TM para obtenção de reflectância de superfície e NDVI In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 7564-7571.

SANTA CATHARINA, R. T. **Ordenanças urbanas e ideia de cidade: o primeiro e o segundo plano diretor de Pelotas e os temas de urbanismo do século XX**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. UFPel, 2012.

SANTANA, F. C *et al.* Mapeamento das áreas de risco de inundação no município de João Monlevade - MG, com a utilização de Sistema de Informações Geográficas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, BELO HORIZONTE/MG, 5. **Anais do ....** IBEAS, Belo Horizonte/MG, 2014.

SANTOS, A. R. dos; LOUZADA, F. L. R. O; EUGENIO, F. C. **ArcGIS 9.3 total: aplicações para dados espaciais**. Alegre – ES: CAUFES, 2010. 184p. Disponível em: <<http://www.mundogeomatica.com.br/Livros>>. Acesso em 13 de abril 2017.

SANTOS DA SILVA, C. S. Inundações em Pelotas: **O Uso de Geoprocessamento no Planejamento Paisagístico e Ambiental**. 2007. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

SANTOS, E. L.; RAMGRAB, G. E.; MACIEL, L. A.; MOSMANN, R. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**, DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. Brasília, 1989.

SANTOS JUNIOR, O. A.; MONTANDON D. T. Síntese, Desafios e Recomendações. In: SANTOS, O. A; MONTANDON, D. T. (Org.), **Os Planos Diretores Municipais Pós-Estatuto da Cidade: balanço crítico e perspectivas**. Rio de Janeiro: Letra Capita: Observatório das Cidades: IPPUR/UFRJ, 2011.

SANTOS, M. **A Urbanização Brasileira**. 1º Edição. Editora Hucitec. São Paulo, 1998.

SANTOS, M. C. R.: **Manual de fundamentos Cartográficos e diretrizes gerais para elaboração de Mapas Geológico, Geomorfológico e Geotécnicos**. IPT, publ. IPT v. 1773. São Paulo, 1990

SANTOS, G. T; DIAS, R. D.; LIMA, C. JR. MACCARINI, M. Mapa Geotécnico e a avaliação do comportamento mecânico dos solos de Florianópolis, SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA 2., 1996, São Carlos. **Anais...** São Carlos: IBGE, 1996. p. 71-78.

SARAIVA, M. V. P.; POLIDORI, M. C. Bacias Urbanas: O Caso de Pelotas. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CINÉTICA E IX ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 16 2007. Pelotas. **Anais...** Pelotas: UFPel, 2007.

SARAIVA, M. V. P. **Simulação de crescimento urbano em espaços celulares com uma medida de acessibilidade: método e estudo de caso em cidades do sul do Rio Grande do Sul.** 2013. Dissertação (Mestrado em Arquitetura), Programa de Pós Graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2013.

SCHLEE, R. L. ; CIMARA C. M. Conflitos Socioambientais de Pelotas. In: SME - Prefeitura Municipal de Pelotas. (Org.). **Nossa História Nossa Geografia Nossas Lutas.** Pelotas: 2004.

SCHNAID, F.; ODEBRECHT, E. **Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações.** 2º ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE. Governo do Estado do Rio Grande do Sul. **Relatório final do inventário florestal do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, 2001. V.1 e 2, 706p.

SILVA, R. C. **Análise das áreas suscetíveis à erosão na bacia do Arroio Pelotas (RS), com auxílio de Geoprocessamento.** Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia. UFPel, 2009.

SILVA, F. B. *et al.* **Cartografia da Expansão Urbana: 1950-2000.** Associação Portuguesa de Geógrafos. Coimbra, 2009. Disponível em < <http://hdl.handle.net/10216/19858>>. Acesso em 05 mai. 2015.

SILVA, G. G.; OLIVEIRA, L. N. Análise de suscetibilidade e potencial à erosão laminar no município de São Miguel do Araguaia - Go. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17, 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: INPE, 2015.

SILVA, J. A.. **Direito urbanístico brasileiro.** 3. ed. São Paulo: Malheiros, 2000.

SILVA, R. C. **Análise das áreas suscetíveis à erosão na bacia do Arroio Pelotas (RS), com auxílio do geoprocessamento.** Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, ICH, UFPel. Pelotas, 2009.

SILVA NETO, J. C. A. Avaliação da vulnerabilidade à perda de solos na bacia do rio Salobas, MS, com base nas formas do terreno. **Revista Geografia** (Londrina), v.22, n.1. Londrina: UEL, 2013.

SILVEIRA, A. L. L. da. Ciclo Hidrológico e Bacias Hidrográficas. In: TUCCI, C. M. (Org.). **Hidrologia, Ciência e Aplicação.** 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2014.

SILVEIRA, C. P. ; ASSIS, S. V., Análise da distribuição da frequência mensal de precipitação para a cidade de Pelotas, RS. In: CONGRESSO BRAILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMET, 2000.

SOARES, P. R. R., **Del proyecto urbano a la producción del espacio: morfología urbana de la ciudad de Pelotas, Brasil (1812-2000).** 2002. 507f. Tese (Doutorado em Geografia Humana). Faculdade de Geografia e História. Universidade de Barcelona, Barcelona, 2002.

SOARES, W. C. **Banco de dados geológico-geotécnico em base em sondagens à percursão e uso de SIG: Análise espacial da profundidade do lençol freático e do Nspt para obras de fundação em João Pessoa - PB**. Tese (Doutorado em Ciências). Programa de Pós-Graduação em Geotécnica. Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2011.

SOBREIRA, F. G; SOUZA, L. A. Cartografia Geotécnica Aplicada ao Planejamento Urbano. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**. Vol. 2, nº 1, p. 79-97. São Paulo, 2012.

SOBREIRA, F. G; SOUZA, L. A., **Guia para elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais. Estudo de caso de ouro preto - 2013**. Brasília DF, 2014. Disponível em < <http://www.abge.org.br/uploads/imgfck/file>>. Acesso em: 30 mar. 2015.

SOUZA, G. M.; MATRICARDI, E. A. T. Análise comparativa dos modelos de elevação SRTM, ASTER GDEM e TOPODATA para estimar o fator topográfico (LS) da USLE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 16, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais do ...** INPE, Foz do Iguaçu/PR, 2013.

SOUZA, J. C. **Avaliação da suscetibilidade e do potencial a erosão laminar da Bacia do Ribeirão Sozinha (GO)**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, IESA, Universidade Federal de Goiás. Goiás: 2010.

SOUZA, L. A.; SOBREIRA, F. G. **Guia para elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais**. Brasília, 2014. 68 p. Disponível em: < [http://www.abge.org.br/uploads/imgfck/file/guia\\_aptidao\\_a\\_urbanizacao\\_souza\\_e\\_sobreira\\_2014.pdf](http://www.abge.org.br/uploads/imgfck/file/guia_aptidao_a_urbanizacao_souza_e_sobreira_2014.pdf)>. Acessado em 15 set. 2015.

SOUZA, N. M.; GANDOLFI, N. (1993) Geoprocessamento para a cartografia geotécnica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 7., Poços de Caldas, 1993. **Anais....** São Paulo, ABGE. v.2, p.25-31, 1993.

SOUZA, C. R. G. Um sistema de informações geoambientais para o litoral de São Paulo. In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (ABEQUA), IX, Recife/PE, 2003. **Anais do ...** Recife/PE, ABEQUA, 2003.

SOUZA, C. R. G. Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. Ano 6, nº1, p. 45-61, 2005.

SOUZA, J. O. P. Análise da precisão Altimétrica dos modelos digitais de elevação para área semiárida do nordeste brasileiro. **Revista do Departamento de Geografia**. Universidade de São Paulo, v. 30. p. 56-64, 2015.

SPOSITO, M. E. B. **Capitalismo e Urbanização**. 10. ed. São Paulo: Contexto, 2000. p.11-15

STRECK, E. V.; N. KAMPF; R. S. D. DALMOLIN, *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS, UFRGS, 2008. 222p.

TAGLIANI, C. R. A. **A mineração na porção média da Planície Costeira do RS: Estratégia para gestão sob um enfoque de Gerenciamento Costeiro Integrado**. 2002. 248f. Tese (Doutorado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2002.

TERAMOTO, E. R., LEPSCH, I. F., VIDAL TORRADO, P. Relações solo, superfície geomórfica e substrato geológico na microbacia do Ribeirão Martins (Piracicaba – SP). **Scientia Agricola**. v.58 n.2, p.361-371, 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/sa/v58n2/4429.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2015.

TORALLES, **Cidade e crescimento periférico: modelagem e simulação da formação de periferias urbanas com autômatos celulares**. Dissertação de Mestrado. Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. PROGRAU. UFPel, 2013.

TORRENS, P. **How land-use transportation models work**. London: Casa, UCL. 75p. Disponível em: <<http://www.bartlett.ucl.ac.uk/casa/publications/working-paper-20>>. Acessado em 15 out. 2014.

TORRES, P. T. F. *et al.* A suscetibilidade à erosão como subsídio ao planejamento urbano: estudo de caso do município de Ubá - MG. **Revista Agrogeoambienta**, v.6, n.1, 2014. Instituto Federal Sul de Minas Gerais. Minas Gerais, 2014

TOREZAN, F. E. **Proposta metodológica para subsidiar a determinação do grau de impacto ambiental em empreendimentos minerários na região de Descalvado e Analândia**. 2005. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, UFSCar, São Carlos, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP, 1993.

ULTAMAR, C. Significado do Urbanismo. **Revista Pós**. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. USP. São Paulo, v.16 n.25, 2009. p. 166-184.

USGS - U. S. GEOLOGICAL SURVEY. **Frequently asked question about the Landsat mission**. Disponível em: <[http://landsat.usgs.gov/band\\_designations\\_landsat\\_satellites.php](http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php)>. Acessado em: 25 de nov. 2016.

VALENTE, A. L. S. **Desenvolvimento de uma Metodologia para Planejamento Urbano, Utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto, Modelagem Numérica de Terreno (MNT) e Sistema de Informações Geográficas (SIG)**. 1995. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. CEP SRM. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1995.

VALENTE, A. L. S. **Integração de dados por meio de geoprocessamento, para elaboração de mapas geotécnicos, análise do meio físico e suas interações com a mancha urbana**. 1999. 391f. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) – Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 1999.

VALENTE, A. L. S. *et al.* Aptidão do solo para Porto Alegre pelo método de avaliação de critérios múltiplos em Sistemas de Informações Geográficas (SIG). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 4., 2001, Brasília. **Anais...** Brasília: ABGE, 2001.

VALENTE, A. L. S.; KOPPE, J. C.; STRIEDER, A. J. S.; QUADROS, T. F. P. Considerações sobre procedimentos para a integração de dados por meio de sistema de informações geográficas (SIG) visando a análise do meio físico e estudos geotécnicos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 3., 1998, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis: ABGE, 1998.

VALÉRIO FILHO, M.; COSTA M. A.; PEREIRA, M. N.; SERAFIM, C. R. Geotecnologias Aplicadas no Monitoramento do Crescimento Urbano em Áreas de Risco à Erosão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 12., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2004.

VASCONCELOS, M. Erosão retorna ao Balneário dos Prazeres mesmo com obra do SANEP. **Diário Popular**, versão digital. Pelotas, 02 out. 2013.

VAZ, C. L., MAGALHÃES JUNIOR, A. P., MOURA, A. C. M., Modelo de análise espacial para avaliação do suscetibilidade à degradação das águas na Bacia do Rio das Velhas/MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRICOS, 19. 2001, Maceió. **Anais...** Maceió: ABRH, 2001.

VEDOVELLO, R.; MATTOS, J. T. A utilização de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) como base para a definição de Unidade Geotécnicas. Uma abordagem a partir do sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 3. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABGE, 1998

VENTURA, Magda Maria. O Estudo de Caso como modalidade de pesquisa. **Revista SOCERJ**. Rio de Janeiro, Socerj, setembro/outubro de 2007, n.20(5), p. 383-386.

VILLAÇA, F.. Uma contribuição para a história do planejamento urbano no Brasil. In: DEÁK, Csaba; SCHIFFER, Sueli Ramos (org.) **O processo de urbanização no Brasil**. São Paulo: EdUSP, 1999. p. 169–243.

VILLWOCK, J. A. **Geologia e geomorfologia da planície aluvial do Canal São Gonçalo, RS, Brasil**. Mapa. Esc. 1:124.000. [Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2f. 1984.

VILLWOCK, J.A., Geology of the Coastal Province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. A Synthesis. **Pesquisas**, Porto Alegre, n.16, p. 5-49, 1984.

VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J.. **Geologia do Rio Grande do Sul**, Notas Técnicas do CECO-IG-UFRGS, Porto Alegre, 1995, v. 8. p.1-45

VILLWOCK, Jorge Alberto ; TOMAZELLI, Luiz José . Planície Costeira do Rio Grande do Sul: gênese e paisagem atual. In: Becker,F.G.; Ramos,RA; Moura,L.A.. (Org.). **Biodiversidade. Regiões da Lagoa do Casamento e dos Butiazaís de Tapes, planície costeira do Rio Grande do Sul**. 1ªed.Brasília: Ministério do Meio Ambiente/SBF, 2007, v. , p. 1-388.

VOOGD, H. **Multicriteria evaluation for urban and regional planning**. London: Plo, 1983.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses**. A guide to conservation planning. USDA Handbook, Washington, n.537, 57p, 1978.

WHITAKER, J. S. **Alcances e limitações dos instrumentos urbanísticos na construção de cidades democráticas e socialmente justas. Cidades para que(m)?**. Textos acadêmicos, 2003. Disponível em: [www.cidadesparaquem.org](http://www.cidadesparaquem.org). Acessado em: 23 maio 2016.

WOLSKI, M. S. *et al.* Contribuição à cartografia geotécnica de grandes áreas com o uso de sistemas de informações geográficas: uma aplicação à Região do Médio Uruguai (RS). In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 3, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: COBRAC, 1998. 8p.

XAVIER, S. C. **O mapeamento geotécnico por meio de geoprocessamento como instrumento de auxílio ao planejamento do uso e ocupação do solo em cidades costeiras**: estudo de caso para Pelotas (RS). Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, FURG. Rio Grande, 2010

XAVIER, S. C. **Mapeamento Geotécnico Aplicado ao Planejamento do Uso e Ocupação do Solo da Cidade de Pelotas. Estudo Voltado à Expansão Urbana**. Trabalho de Qualificação de Doutorado (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

XAVIER, S. C.; PORTELLA, A.; BRESSANI, L. A.; Cartografia Geotécnica e Planejamento Urbano. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 15, 2015. **Anais do ...** ABGE, Bento Gonçalves/RS, 2015.

YIN, R. K. **Case Study Research. Design and Methods**. 3ª Edição. SAGE Publications. London, 2003. 181p.

ZAINE, J. E., **Mapeamento Geológico-Geotécnico por Meio do Método do Detalhamento Progressivo: Ensaio de Aplicação na Área Urbana do Município de Rio Claro (SP)**. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual de São Paulo. Rio Claro, 2000. 149p.

ZUQUETTE, L. V. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras**. 1987. 219p. Tese (Doutorado em Geotecnia), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1987.

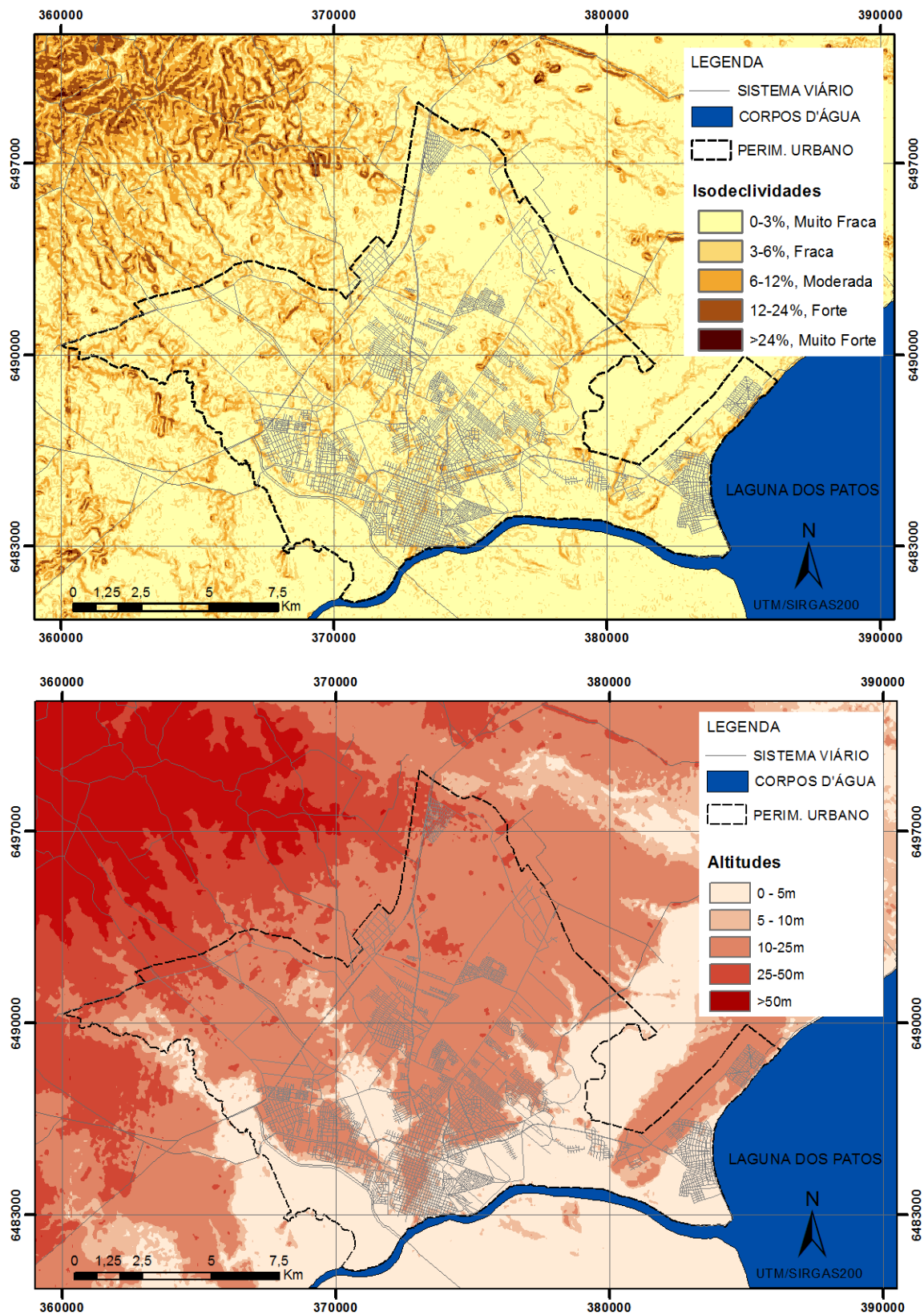
ZUQUETTE, L. V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração**. Tese de Livre Docência, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2v. São Carlos, 1993.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. **Cartografia Geotécnica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 190p.

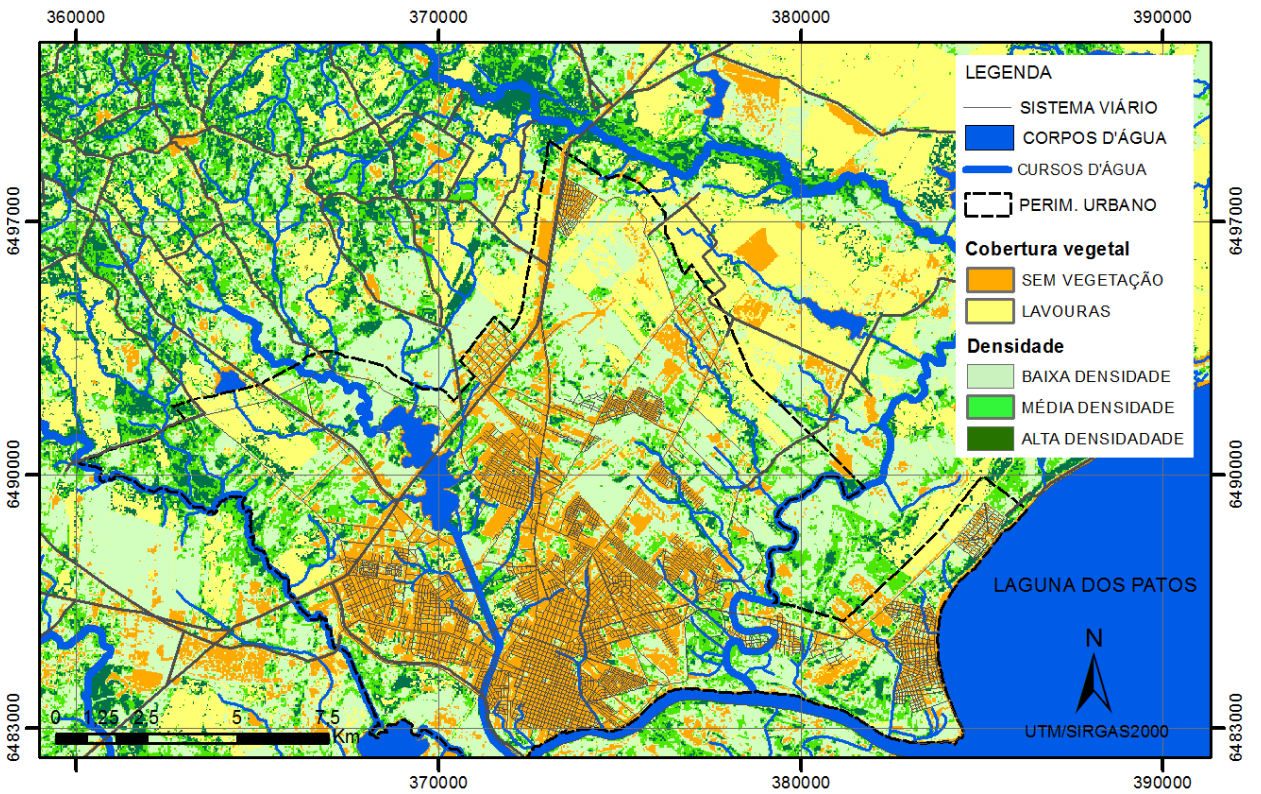
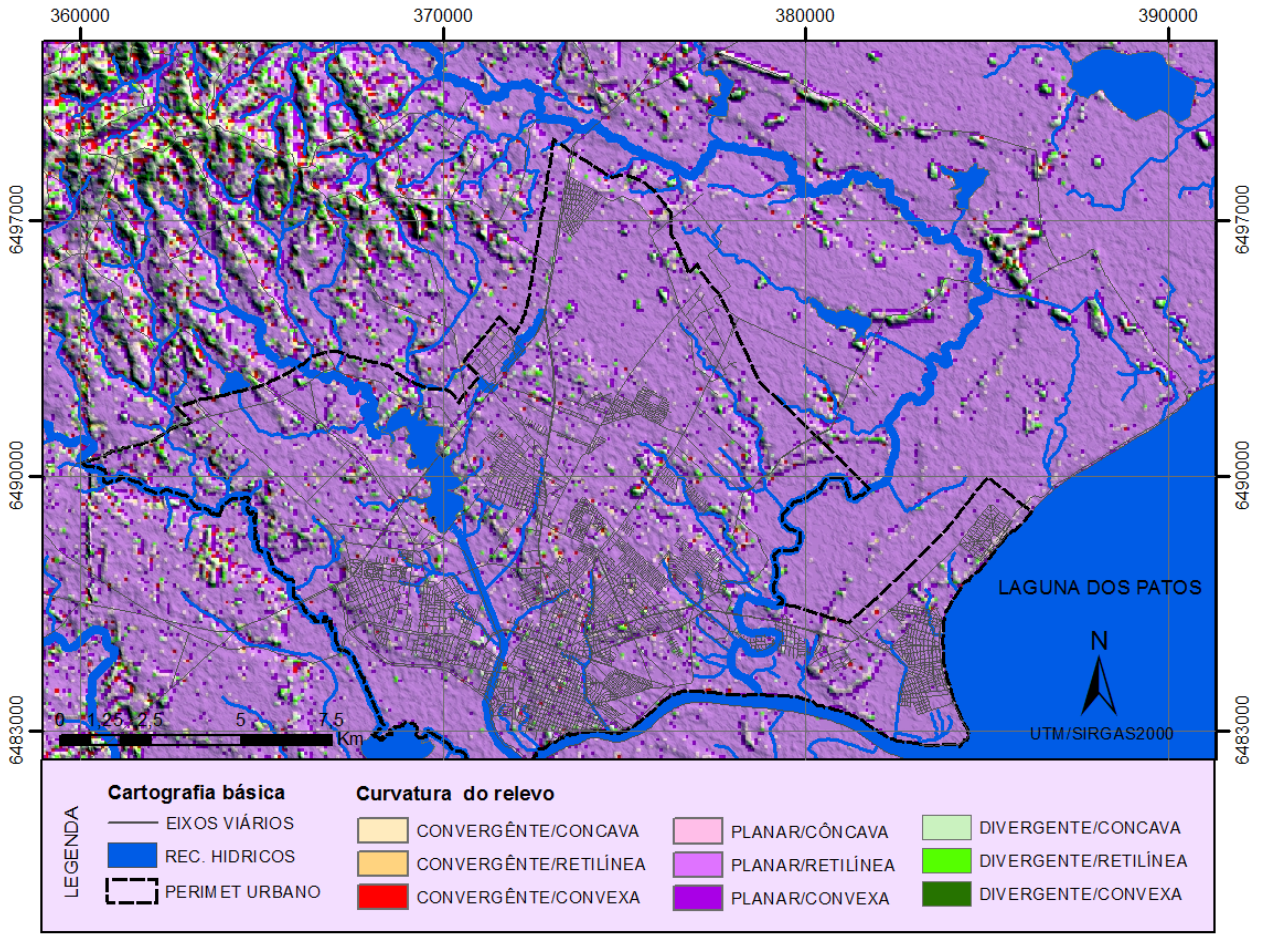
ZUQUETTE, L. V.; NAKAZAWA, V. A. Cartas de Geologia de Engenharia. In: OLIVEIRA, A. M. S; BRITO, S. N. A. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. cap. 17, p.283-300.

## APÊNDICES

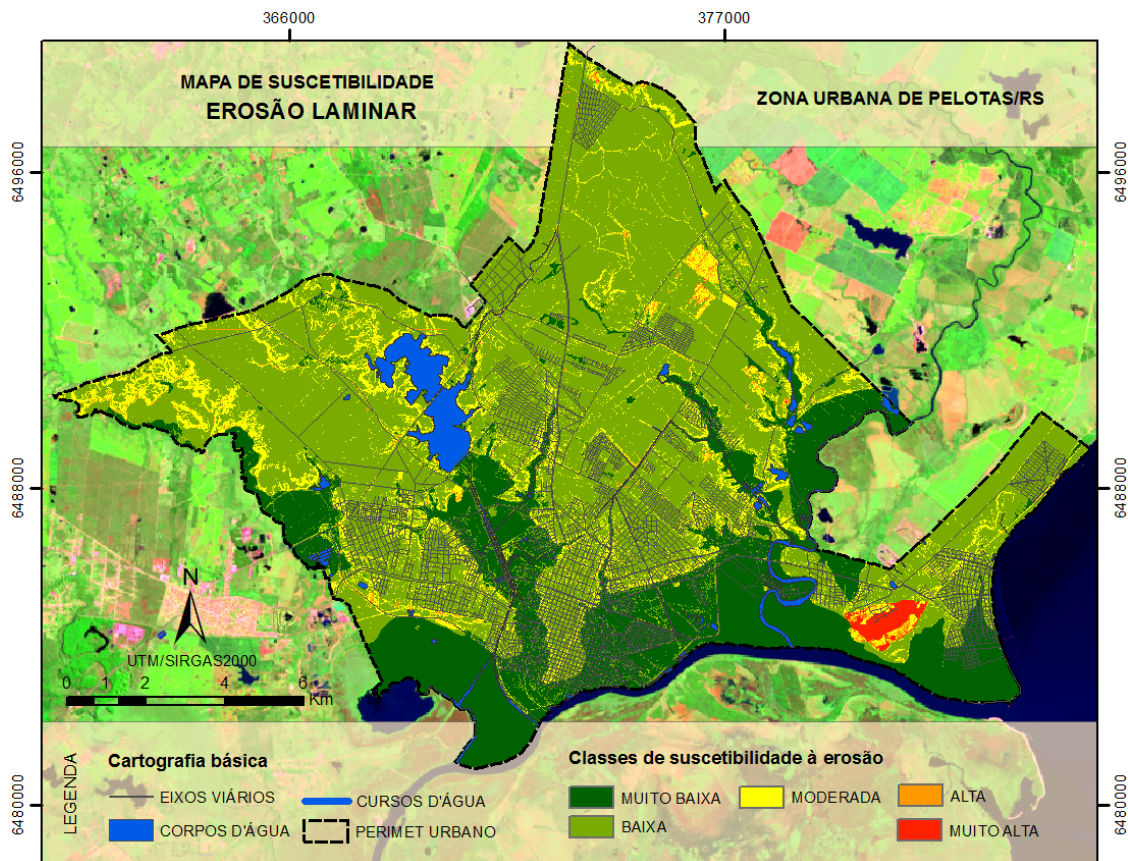
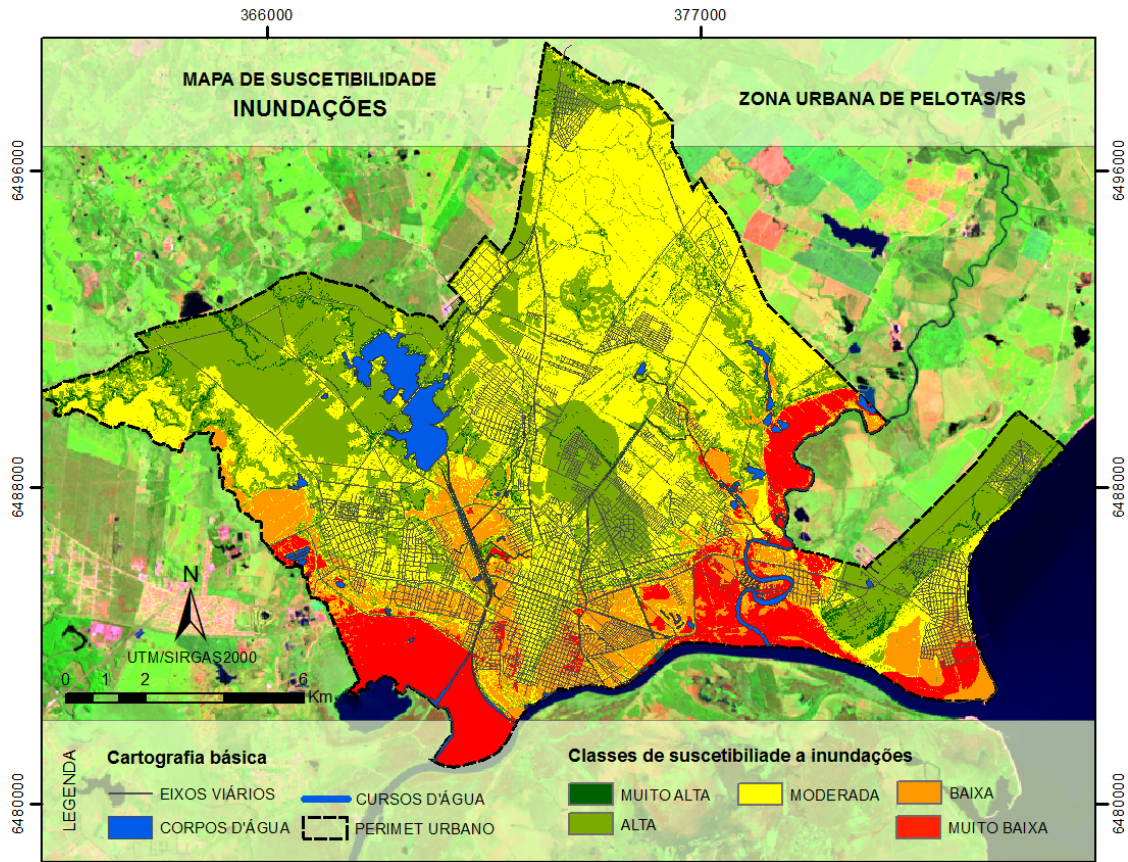
### Apêndice A — Mapas de Isodeclividade, Hipsometria, Curvatura do Relevo e Cobertura Vegetal



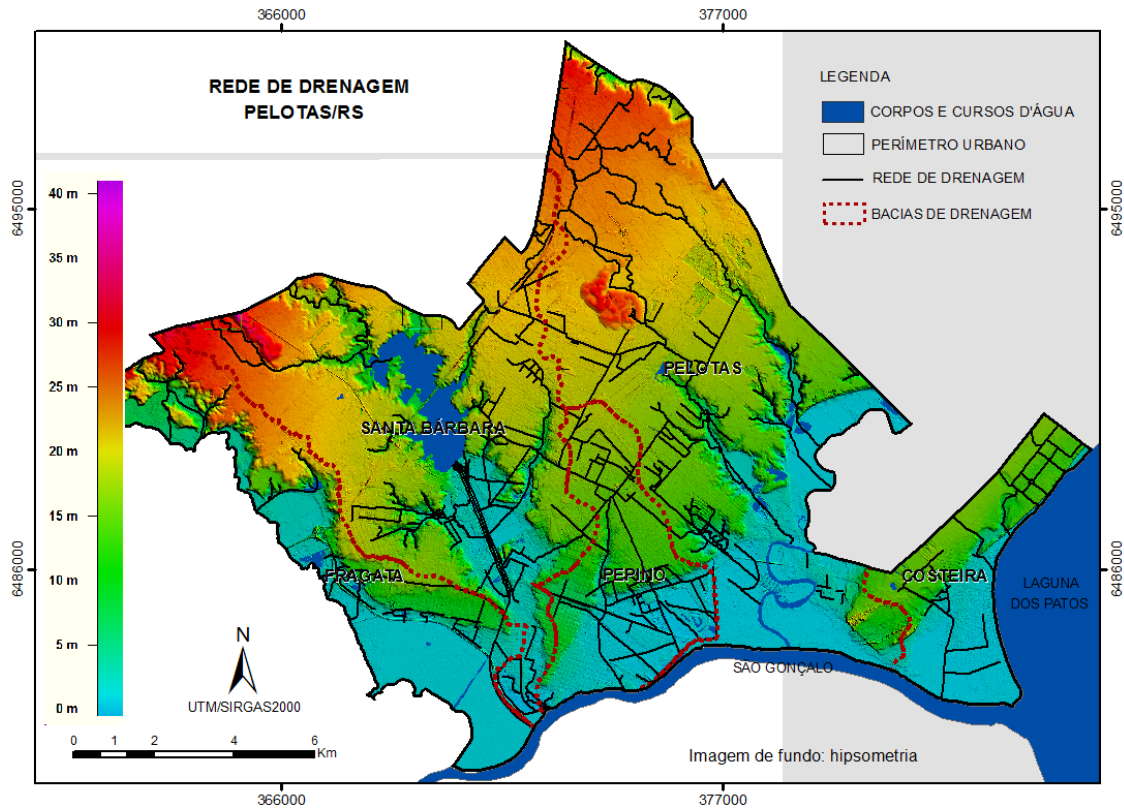




**Apêndice B** — Mapas de Suscetibilidade à Inundações e a Erosão Laminar na Zona Urbana de Pelotas.



Apêndice C — Rede urbana de drenagem.



Apêndice D — Mapa da divisão dos vazios urbanos sobrepostas à aptidão à urbanização

