

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E
SANEAMENTO AMBIENTAL**

**ANÁLISE DE FRAGILIDADE AMBIENTAL EM
BACIA HIDROGRÁFICA URBANA PARA SUBSIDIAR
UMA AVALIAÇÃO AMBIENTAL INTEGRADA**

TESE DE DOUTORADO

Janete Teresinha Reis

Porto Alegre, RS, Brasil

2012.

**ANÁLISE DE FRAGILIDADE AMBIENTAL EM BACIA
HIDROGRÁFICA URBANA PARA SUBSIDIAR UMA
AVALIAÇÃO AMBIENTAL INTEGRADA**

Janete Teresinha Reis

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de
Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, RS)
como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Lopes da Silveira

Co-Orientador: Prof. Dr. Rafael Cabral Cruz

Porto Alegre, RS, Brasil

2012.

**Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Pesquisas Hidráulicas
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado

**ANÁLISE DE FRAGILIDADE AMBIENTAL EM BACIA
HIDROGRÁFICA URBANA PARA SUBSIDIAR UMA AVALIAÇÃO
AMBIENTAL INTEGRADA**

elaborada por
Janete Teresinha Reis

como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor(a) em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Carlos Eduardo Morelli Tucci, Dr. (IPH-UFRGS)

Prof. Luis Eduardo de Souza Robaina, Dr. (UFSM)

Prof. Nilo de Oliveira Nascimento, Dr. (UFMG)

Porto Alegre, 20 de Janeiro de 2012.

Dedico esta tese ao meu marido Antonio Marcos que sempre me apoiou e deu força para continuar nesta caminhada. Aos meus pais Imelda e Tadeus, ao meu irmão Jair e principalmente, a você Juninho que é a luz do meu viver.

AGRADECIMENTOS

Mais uma etapa se concretiza e sem Vocês esta vitória não seria tão gratificante. A Vocês meus sinceros agradecimentos:

A Deus por me conceder a fé e permitir acreditar que toda hora difícil é passageira e recompensadora.

Aos meus pais pelo incentivo, carinho e compreensão que se traduz em amor.

Ao meu irmão Jair, pelo apoio e carinho fazendo-me acreditar que pela fé, em Deus, é possível transpor qualquer obstáculo.

Em especial, ao meu marido Antonio Marcos, pelo amor, carinho e compreensão da minha ausência e apoio de todas as horas, acima de tudo, permitindo a concretização desta etapa importante da minha vida.

Ao professor André Luiz Lopes da Silveira pelas preciosas horas de orientação, amizade e profissionalismo.

Ao professor Rafael Cabral Cruz pelo exemplo de profissionalismo, conceder horas de orientação e nortear a pesquisa através dos esclarecimentos e ensinamentos na elaboração desta tese.

Ao professor Heinrich Hasenack do Departamento da Ecologia, pela disponibilidade de dados para realizar parte desta pesquisa.

Ao programa de pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, na pessoa do secretário Andreas, pelo esclarecimento das dúvidas e amizade.

Aos Professores da Universidade Federal de Santa Maria, sobretudo na pessoa do professor Silvério, Professora Andrea, professor Flávio, pelos ensinamentos e auxílio na definição dos índices de fragilidade ambiental.

A Damáris Gonçalves Padinha pela amizade e auxílio nos mapeamentos temáticos e ao Carlos Gilberto Konrad pelo auxílio na formatação da Tese.

Aos colegas do Laboratório de Hidrologia da UFRGS, em especial a Claudinéia, o Anderson, o Adriano e o Frederico, assim como, a Angélica da sala de Planejamento pela amizade, apoio e contribuições ao longo destes anos da elaboração da tese.

Aos professores do curso de pós-graduação, por compartilharem sua experiência e conhecimentos durante a realização das disciplinas.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, mais precisamente ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela oportunidade da realização do doutorado, em uma instituição pública e de qualidade. E ao CNPq pelo auxílio financeiro.

Mensagem

“Somos parte da Terra e ela é parte de nós. As flores perfumosas são nossas irmãs, os gamos, o cavalo, a majestosa águia, todos são nossos irmãos. Os picos rochosos, a fragrância dos bosques, a energia vital do pônei e o homem, tudo pertence a uma só família.... de uma coisa temos certeza: todas as coisas estão relacionadas como sangue que une uma família. Tudo está associado. O que fere a Terra fere também os filhos da Terra. O homem não tece a teia da vida: é antes um de seus fios. O que quer que faça a essa teia, faz a si próprio...” (Carta do Chefe Seattle, 1855)

REIS, JANETE TERESINHA. Análise de Fragilidade Ambiental em Bacia Hidrográfica Urbana para Subsidiar uma Avaliação Ambiental Integrada. 2012. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, UFRGS, Porto Alegre.

A presente pesquisa teve como objetivo principal determinar a fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica urbana no intuito de subsidiar a avaliação ambiental integrada para fins de assessoramento ao processo de tomada de decisões referentes à expansão urbana e licenciamento ambiental em situação de carência de dados. A base conceitual para estruturar o presente trabalho foi o relatório do projeto Frag-Rio (2011). A proposta metodológica realizada em escala de bacia hidrográfica teve, como estudo de caso, a bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS. A abordagem metodológica resultou na análise desagregada e integrada dos meios físico, biótico e antrópico, elegendo variáveis indicadoras viáveis ao estudo. Estas resultaram em mapas síntese que agregaram informações buscando uma visão integradora na definição das áreas de menor fragilidade ambiental para expansão urbana e licenciamentos ambientais. Os ensaios de sensibilidade mostraram que o meio antrópico exerce maior discriminação entre os três e, portanto, exerce maior influência na determinação das áreas de fragilidade ambiental. A análise de consistência, com base na correlação de Spearman, mostrou que o grau de incerteza entre os dados medidos e estimados é cerca de 40% (aproximadamente 60% dos dados estimados coincidem com os medidos a campo). A análise de fragilidades ambientais resultou na redução de incerteza nos processos de tomada de decisão. Portanto, estudos desta natureza são importantes para os órgãos públicos subsidiarem e definirem diretrizes, elegendo áreas de menor fragilidade para ocupação urbana. Em suma, ficou clara a preocupação com o ambiente urbano e a população que nela habita, principalmente os das áreas mais frágeis, com o intuito de agregar informações que possam direcionar as tomadas de decisão para um ambiente urbano mais sustentável.

Palavras-chave: Fragilidades ambientais, avaliação ambiental integrada, expansão urbana, tomada de decisão.

REIS, JANETE TERESINHA. **Environmental fragility assessment in an urban watershed for subsidizing an integrated environmental impact assessment.** 2012. Thesis (Doctorate in Water Resources and Environmental Sanitation) – Post Graduation Program in Water Resources and Environmental Sanitation, Institute of Hydraulics Research, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil.

The main objective of the present study was to adapt the methodological approach for integrated environmental assessment through analyzing the environment's fragility in an urban watershed in order to advising the decision-making process regarding urban expansion and environmental licensing when in a lack of detailed available data. The conceptual basis structuring the present work was the 2011's Frag-Rio project report. Here, the proposed methodology implemented in a basin scale used as a case study the Capivara basin, in Porto Alegre, Brazil. The methodological approach resulted in a disaggregated and integrated analysis of the physical, biotic and anthropic aspects, and viable indicator variables for such were selected. These resulted in synthetic maps for a comprehensive view of information, defining areas of least environmental vulnerability for urban expansion and environmental licensing. The sensitivity tests showed a great difference among them for the anthropic environment, and for this reason influence in determining the areas of environmental fragility. The consistency analysis based on Spearman's correlation presented a uncertainty degree of about 40% between the estimated and the gauged data (approximately 60% of the estimated data are in accordance with the data measured in the field). The analysis of environmental fragility reduced the uncertainties in decision-making processes. Therefore, such studies are of a great importance so the government can subsidize and define guidelines, choosing areas of lower vulnerability for urban occupation. In summary, there is a clear concern about the urban environment and the people who live in these areas, especially those living in the most fragile ones, as well as about collecting information to assist in the decision making towards a more sustainable urban environment.

Key-words: environment fragility, integrated environmental assessment, urban expansion, decision making.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Diagnóstico do panorama urbano brasileiro	19
Figura 2.2 – Principais Alterações Provocadas pela Urbanização na Rede de Drenagem.....	21
Figura 2.3 - Relações entre os Sistemas das Águas Urbanas	23
Figura 2.4 - A reta de equitendimento na construção do coeficiente de deficiência de atendimento	28
Figura 3.1 – Fluxograma da metodologia de análise de fragilidade ambiental (AFA) em bacia hidrográfica urbana (BAURB).	32
Figura 3.2 - Localização da bacia hidrográfica do arroio Capivara, em Porto Alegre – RS	34
Figura 3.3 - Níveis de modelagem para tomada de decisão	39
Figura 3.4 - Fluxograma do aspecto temático geologia/morfologia e suas variáveis.....	41
Figura 3.5 - Croqui esquemático das formas do relevo nas diferentes declividades.....	43
Figura 3.6- Parâmetros para a avaliação da vulnerabilidade	46
Figura 3.7 - Fluxograma do aspecto temático contaminação das águas.....	47
Figura 3.8 - Fluxograma da variável carga orgânica remanescente da população	49
Figura 3.9 - Fluxograma do aspecto temático estabilidade de encostas e suas variáveis.....	51
Figura 3.10 - Fluxograma do aspecto temático risco de inundação e suas variáveis	53
Figura 3.11 - Fluxograma do aspecto temático fragilidade à erosão e suas variáveis.....	58
Figura 3.12 - Fluxograma da fragilidade ambiental do meio físico	60
Figura 3.13 - Fluxograma metodológico do meio biótico em ambiente urbano	62
Figura 3.14 - Fluxograma do aspecto temático fauna e flora terrestre e suas variáveis.....	63
Figura 3.15 - Fluxograma da fragilidade ambiental do meio biótico	66
Figura 3.16 - Fluxograma metodológico do meio antrópico em ambiente urbano	67
Figura 3.17 - Fluxograma da fragilidade ambiental do meio antrópico	74
Figura 3.18 - Fluxograma da análise de consistência da variável estimada e medida das águas superficiais.....	79
Figura 4.1 – Mapa de solos da área de estudo	82
Figura 4.2 – Mapa de morfologia da área de estudo	84
Figura 4.3 – Mapa de declividade da bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.	86
Figura 4.4 – Mapa de declividade da bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS	87
Figura 4.5 – Mapa geológico da bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS ...	88
Figura 4.6 – A compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do arroio Capivara.	90
Figura 4.7 - Padrões em forma de morros no arroio Capivara	91
Figura 4.8 - Padrões em forma de morro na bacia hidrográfica.....	91
Figura 4.9 - Morros associados com Colinas no arroio Capivara, Porto Alegre-RS.....	92
Figura 4.10 - Morros associados a colinas na bacia hidrográfica, Porto Alegre-RS.....	92
Figura 4.11 - Padrões em forma de planície Fluvial-Lagunar, foz da bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre-RS	93
Figura 4.12 - Padrões em forma de planície Fluvial-Lagunar, foz do arroio Capivara, Porto Alegre-RS	93
Figura 4.13 – Hierarquia fluvial do arroio Capivara, em Porto alegre - RS.....	94
Figura 4.14 – Forma das sub-bacias na área de estudo	95
Figura 4.15 - Lançamento de esgoto direto no arroio Capivara	96
Figura 4.16 - Coloração da água na foz do arroio Capivara.....	96

Figura 4.17 – Carga orgânica remanescente da população na bacia hidrográfica do arroio Capivara.....	97
Figura 4.18 – Carga orgânica remanescente da população por bacia de contribuição na bacia hidrográfica do arroio Capivara.....	98
Figura 4.19 – Mapa da contaminação das águas superficiais por lavouras na bacia hidrográfica do arroio Capivara.	99
Figura 4.20– Mapa do índice de vulnerabilidade das águas subterrâneas na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS	100
Figura 4.21 - Áreas de Preservação Permanente na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.....	103
Figura 4.22 – Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS	105
Figura 4.23 - Conflito de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.....	107
Figura 4.24 - Lançamento do Esgoto Cloacal no arroio Capivara	108
Figura 4.25 - Lançamento de águas pluviais na bacia hidrográfica	108
Figura 4.26 - Interceptor arroio Capivara.....	109
Figura 4.27 - Interceptor arroio Capivara.....	109
Figura 4.28 – Malha viária da bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS.....	110
Figura 4.29 - Impermeabilidade do solo na bacia hidrográfica do arroio Capivara.....	111
Figura 4.30 - Impermeabilização do solo, junto a foz da bacia hidrográfica do arroio Capivara	111
Figura 4.31 – Índice de impermeabilidade da bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.	113
Figura 5.1 – Fragilidade ambiental da geologia na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.....	116
Figura 5.2 – Fragilidade ambiental da morfologia na bacia hidrográfica do arroio Capivara, em Porto Alegre – RS.....	117
Figura 5.3 – Fragilidade ambiental da declividade na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.....	119
Figura 5.4 – Fragilidade ambiental das águas subterrâneas na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.	121
Figura 5.5 – Áreas de fragilidade potencial quanto à geologia e morfologia.....	122
Figura 5.6 – Fragilidade ambiental da carga orgânica remanescente da população na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS	123
Figura 5.7 – Fragilidade ambiental da agricultura urbana na bacia hidrográfica do arroio Capivara, em Porto Alegre – RS.	125
Figura 5.8 – Fragilidade ambiental da contaminação das águas superficiais na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS	126
Figura 5.9 – Fragilidade ambiental da morfologia na bacia hidrográfica do arroio Capivara, em Porto Alegre – RS.....	127
Figura 5.10 - Relevos: côncavo e convexo.....	128
Figura 5.11 – Forma de relevo convexo.....	128
Figura 5.12 – Fragilidade ambiental da geologia na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.....	130
Figura 5.13 – Fragilidade ambiental da declividade na bacia hidrográfica do arroio Capivara, em Porto Alegre – RS.....	131
Figura 5.14 – Síntese das áreas de fragilidade quanto à estabilidade de encosta.....	132
Figura 5.15 – Fragilidade ambiental da declividade na bacia hidrográfica do arroio Capivara, em Porto Alegre – RS.....	133

Figura 5.16 – Ordenamento da fragilidade dos cursos de água para risco de inundação.....	134
Figura 5.17 - Potencial de fragilidade segundo a forma das sub-bacias de contribuição lateral da área de estudo, Porto Alegre – RS	135
Figura 5.18 – Fragilidade ambiental segundo o índice de impermeabilidade na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS	136
Figura 5.19– Síntese das áreas de fragilidade potencial para ocorrência de inundação na área de estudos	137
Figura 5.20 – Potencial de fragilidade ambiental do solo na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS	139
Figura 5.21 - Potencial de fragilidade do entorno dos cursos d’água na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.....	140
Figura 5.22 - Potencial de fragilidade da declividade na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.....	141
Figura 5.23 – Áreas de fragilidade potencial quanto à erosão.....	142
Figura 5.24 – Fragilidade ambiental da ocorrência potencial das espécies da flora terrestre, na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.....	145
Figura 5.25 – Fragilidade ambiental da ocorrência potencial das espécies da fauna terrestre na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS	146
Figura 5.26 – Síntese da fragilidade do aspecto fauna e flora terrestre.....	147
Figura 5.27 – Localização das áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.....	149
Figura 5.28 – Áreas de restrição absoluta para expansão urbana na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.....	150
Figura 5.29 – Área impermeável da bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.	151
Figura 5.30 – Fragilidade ambiental do índice de impermeabilidade na bacia hidrográfica do Arroio Capivara, Porto Alegre – RS.....	152
Figura 5.31 – Fragilidade ambiental da malha viária na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.....	154
Figura 5.32 – Fragilidade ambiental do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.	156
Figura 5.33 – Fragilidade ambiental das áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.	157
Figura 5.34 – Fragilidade das áreas de conflito do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.	158
Figura 6.1 – Fragilidade ambiental do meio físico na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS.	161
Figura 6.2 – Fragilidade ambiental do meio físico por bacia de contribuição na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.	162
Figura 6.3 – Fragilidade ambiental do meio físico com pesos diferentes para contaminação das águas superficiais na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.	163
Figura 6.4 – Fragilidade ambiental do meio físico com carbono orgânico dissolvido por bacias de contribuição, na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.	164
Figura 6.5 – Fragilidade ambiental do meio biótico na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.....	165
Figura 6.6 – Fragilidade ambiental do meio biótico com áreas de restrição absoluta na bacia hidrográfica do arroio capivara, Porto Alegre – RS.	166
Figura 6.7 – Fragilidade ambiental do meio antrópico na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS.....	168

Figura 6.8 – Síntese da fragilidade ambiental do cenário atual conforme o modelo na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS	170
Figura 6.9 – Síntese da fragilidade ambiental do cenário atual com dados estimados por bacia de contribuição na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS	172
Figura 6.10 – Síntese da fragilidade ambiental do cenário atual a partir de dados medidos a campo na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS	173
Figura 6.11 – Síntese da fragilidade ambiental do cenário conservativo ou ideal na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS	174
Figura 6.12 – Síntese da fragilidade ambiental do cenário de recuperação urbana com área de restrição absoluta na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.....	177
Figura 6.13 - Fragilidade da estabilidade de encosta após ensaios de sensibilidade na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS.....	180
Figura 6.14 - Fragilidade da erosão após ensaios de sensibilidade na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS	182
Figura 6.15 - Fragilidade da geologia/morfologia após ensaios de sensibilidade na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS.....	184
Figura 6.16 - Fragilidade do risco de inundação após ensaios de sensibilidade na bacia hidrográfica do arroio capivara, Porto Alegre – RS	186
Figura 6.17 – Síntese do meio físico após ensaios de sensibilidade na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.....	187
Figura 6.18 – Síntese da fragilidade ambiental do cenário atual com áreas de restrição após ensaios de sensibilidade na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.....	189
Figura 6.19 – Síntese da fragilidade ambiental do cenário conservativo ou ideal pós-sensibilidade na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS	190
Figura 6.20 – Fragilidade ambiental dos dados estimados na Bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS.....	192
Figura 6.21 – Fragilidade ambiental dos dados medidos a campo na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.....	192
Figura 6.22 – Fragilidade ambiental de DQO e pontos de coleta de água na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.....	195

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Relações entre densidade urbana e índices de impermeabilidade do uso do solo	27
Tabela 3.1 - Formações geológicas e fragilidades das rochas	42
Tabela 3.2 – Formas do relevo nas diferentes classes de declividade e notas de fragilidades atribuídas.	44
Tabela 3.3 - Classes de declividade e notas de fragilidades atribuídas.	45
Tabela 3.4 - Índice de vulnerabilidade da água subterrânea na bacia hidrográfica do arroio Capivara.....	46
Tabela 3.5 - Fatores de redução (Fred) de cargas de DBO (CNEC, 1980; MMA, 2009).	48
Tabela 3.6 – Carga orgânica remanescente da população por unidade censitária segundo as fragilidades atribuídas.....	49
Tabela 3.7 – Tipo de cultura e as fragilidades atribuídas	50
Tabela 3.8 - Classes de declividade e notas de fragilidades atribuídas.	52
Tabela 3.9 - Fragilidades ambientais segundo as classes de declividade.....	54
Tabela 3.10 – Ordem dos cursos de água e as fragilidades atribuídas	54
Tabela 3.11 - Valores da forma das sub-bacias e suas fragilidades	56
Tabela 3.12 - Índice de impermeabilidade e fragilidades atribuídas	57
Tabela 3.13 - Tipos de solos, sua resistência e as fragilidades atribuídas	59
Tabela 3.14 - Entorno dos cursos de água e as respectivas fragilidades	60
Tabela 3.15 – Fragilidades das espécies da fauna terrestre ameaçada de extinção	64
Tabela 3.16 – Fragilidades das espécies da flora terrestre ameaçada de extinção	65
Tabela 3.17 – Índice de impermeabilidade das sub-bacias e as fragilidades atribuídas.....	68
Tabela 3.18 – Malha viária e as respectivas fragilidades	69
Tabela 3.19 – Áreas de preservação permanente e os valores atribuídos.....	70
Tabela 3.20 – Tipos de uso e ocupação do solo segundo sua descrição.....	71
Tabela 3.21 – Uso e ocupação do solo e suas fragilidades.....	73
Tabela 3.22 - Índice de fragilidade ambiental para expansão urbana.	75
Tabela 3.23 – Exemplo dos pesos utilizados no ensaio de sensibilidade do aspecto temático geologia/ morfologia na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS.....	77
Tabela 3.24 – Ensaio de sensibilidade dos blocos temáticos na bacia hidrográfica do Arroio Capivara, Porto Alegre – RS	78
Tabela 4.1 – Formas do Relevo da bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS	85
Tabela 4.2 – Intervalo de classes de declividade da área de estudo	86
Tabela 4.3 – Intervalo de classes de declividade da área de estudo conforme IPT	88
Tabela 4.4 – Formações geológicas na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS	89
Tabela 4.5 - População da bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS.....	104
Tabela 4.6 – Tipos de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS	106
Tabela 4.7 – Conflito de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.....	108
Tabela 4.8 – Índice de impermeabilidade do solo urbano na bacia hidrográfica do arroio Capivara.....	112

Tabela 5.1 – As fragilidades ambientais da carga orgânica remanescente da população e o percentual de contribuição na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS. ...	124
Tabela 5.2 – Formas do relevo nas diferentes classes de declividade e valores de fragilidades atribuídas.	128
Tabela 6.1 - Fragilidades atribuídas à carga orgânica remanescente da população e carbono orgânico dissolvido por bacia de contribuição no arroio Capivara, Porto Alegre - RS	191
Tabela 6.2 – Hierarquias (postos) de fragilidades das bacias de contribuição da bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS	194

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 - Aspectos temáticos, variáveis e atributos estipulados ao meio físico	40
Quadro 3.2 - Aspectos temáticos, variáveis e atributos do meio biótico.....	62
Quadro 3.3 – Aspectos temáticos, variáveis e atributos do meio antrópico.....	67
Quadro 4.1 – Unidades de mapeamento dos solos na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS	83

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 6.1 – Análise da sensibilidade do aspecto estabilidade de encosta.....	179
Gráfico 6.2 – Análise da sensibilidade do aspecto fragilidade à erosão.....	181
Gráfico 6.3 – Análise da sensibilidade do aspecto geologia/morfologia	183
Gráfico 6.4 – Análise da sensibilidade do aspecto risco de inundação	185

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AAI: Avaliação Ambiental Integrada
AFA: Análise de Fragilidade Ambiental
MME: Ministério de Minas e Energia
EPE: Empresa de Pesquisa e Energia
IBAMA: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
MMA: Ministério do Meio Ambiente
EIA: Estudo de Impacto Ambiental
IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBI: Index of Biological Integrity
MBI: Macroinvertebrate Biological Index
PIBI: Habitat Based Predicted Index of Biological Integrity
PHI: Physical Habitat Index
ISI: Trophic State Index
TIA: Total Impervious Área
EIA: Effective Imperous Área
IPCC: Painel Intergovernamental de Mudança Climática
PDDU: Plano Diretor de Drenagem Urbana
DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio
FEPAM: Fundação Estadual de Proteção Ambiental
APPS: Áreas de Preservação Permanente
SEMA: Secretaria Municipal do Meio Ambiente
SMAM: Secretaria Municipal do Meio Ambiente
BAURB: Bacia Urbana
IFA – EURB: Índice de Fragilidade Ambiental para Expansão Urbana
COD: Carbono Orgânico Dissolvido
DQO: Demanda Química de Oxigênio

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE QUADROS	xv
LISTA DE GRÁFICOS	xvi
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xvii
SUMÁRIO	xviii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	3
1.1.1 Objetivo geral	3
1.1.2. Objetivos específicos.....	3
1.2 Estruturação da tese	4
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO	5
2.1 Análise de Fragilidades Ambientais na Paisagem	5
2.2 Avaliação Ambiental Integrada	10
2.3 Referências conceituais	14
2.4 Alterações e Influências da Urbanização sobre o Ambiente Natural	16
2.5 Desenvolvimento e Impactos da Urbanização	18
2.6 Gestão Integrada de Águas Urbanas em Bacia Hidrográfica.	22
2.7 Variáveis indicadoras para análise integrada em bacia hidrográfica urbana	25
2.8 Vulnerabilidade e cenários ambientais	30
3 METODOLOGIA	31
3.1 Estratégia metodológica	31
3.2 Bacia hidrográfica do arroio Capivara	33
3.3 Procedimentos metodológicos	35
3.3.1 Desenvolvimento do modelo conceitual e critérios da seleção das variáveis	35
3.3.2 Modelagem	37
3.3.2.1 Mapas de fatores.....	37
3.3.2.2 Mapas de restrições	37
3.3.2.3 Mapas síntese.....	38
3.3.2.4 Mapeamento por variável x aspecto temático x bloco	38
3.4 Abordagem metodológica desagregada por bloco temático	40
3.4.1 Bloco meio físico.....	40
3.4.1.1 Aspecto temático geologia/morfologia.....	40
3.4.1.1.1 Geologia	41
3.4.1.1.2 Morfologia.....	42
3.4.1.1.3 Áreas de declividade.....	44
3.4.1.1.4 Água subterrânea	45
3.4.1.1.4.1 Índice de vulnerabilidade.....	45
3.4.1.2 Aspecto temático contaminação das águas.....	47
3.4.1.2.1 Águas superficiais: valor estimado.....	48
3.4.1.2.2 Carga orgânica remanescente da população	48
3.4.1.2.3 Agricultura urbana.....	50
3.4.1.3 Aspecto temático estabilidade de encostas.....	51

3.4.1.3.1	Morfologia.....	51
3.4.1.3.2	Geologia	51
3.4.1.3.3	Declividade.....	52
3.4.1.4	Aspecto temático risco de inundação	52
3.4.1.4.1	Declividade.....	53
3.4.1.4.2	Ordem dos cursos de água	54
3.4.1.4.3	Forma da bacia.....	55
3.4.1.4.4	Índice de impermeabilidade.....	56
3.4.1.5	Aspecto temático fragilidade à erosão.....	58
3.4.1.5.1	Solos	58
3.4.1.5.2	Entorno dos cursos de água	59
3.4.1.5.3	Declividade.....	60
3.4.1.6	Fragilidades do bloco meio físico.....	60
3.4.2	Bloco meio biótico	61
3.4.2.1.1	Ocorrência potencial da fauna terrestre	63
3.4.2.1.2	Ocorrência potencial da flora terrestre	64
3.4.2.2	Aspecto temático áreas de preservação permanente (APPs).....	65
3.4.2.3	Fragilidades do meio biótico	66
3.4.3	Bloco meio antrópico.....	67
3.4.3.1	Aspecto temático concentração urbana ou índice de urbanização	68
3.4.3.2	Aspecto temático infra-estrutura urbana - malha viária	69
3.4.3.3	Aspecto temático conflito de uso e ocupação do solo	70
3.4.3.3.1	Áreas de preservação permanente	70
3.4.3.3.2	Uso e ocupação do solo	70
3.4.3.4	Fragilidades do meio antrópico	74
3.5	Abordagem metodológica integrada dos blocos temáticos, cenários, ensaios de sensibilidade e análise de consistência	75
3.5.1	Cenários.....	75
3.5.2	Ensaio de sensibilidade	76
3.5.3	Análise de consistência.....	78
4	CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DA PAISAGEM.....	81
4.1	Características do meio físico	81
4.1.1	Solo.....	81
4.1.2	Relevo.....	84
4.1.2.1	Declividade.....	85
4.1.3	Geologia	88
4.1.4	Geomorfologia.....	90
4.1.5	Águas superficiais: rede de drenagem e qualidade da água	93
4.1.5.1	Rede de drenagem	93
4.1.5.2	Forma das sub-bacias	95
4.1.6.3	Qualidade da água	95
4.1.6	Águas subterrâneas	99
4.2	Características do meio biótico	100
4.2.1	Meio biótico.....	100
4.2.1.1	Fauna terrestre: diversidade da fauna	100
4.2.1.2	Flora terrestre: vegetação natural	101
4.2.1.3	Áreas de Preservação Permanente.....	102
4.3	Características do meio antrópico	104
4.3.1.1	Uso e ocupação do solo	104
4.3.1.2	Conflito de uso e ocupação do solo	106

4.3.2	Saneamento básico	108
4.3.3	Infra-estrutura urbana	109
4.3.3.1	Malha Viária	109
4.3.4	Concentração e índice de urbanização.....	111
5	FRAGILIDADES AMBIENTAIS EM BACIA HIDROGRÁFICA URBANA	114
5.1	Fragilidades ambientais do meio físico.....	114
5.1.1	Aspecto geologia/morfologia	114
5.1.1.1	Geologia	115
5.1.1.2	Morfologia.....	116
5.1.1.3	Declividade.....	118
5.1.1.4	Águas subterrâneas	119
5.1.1.5	Síntese do aspecto geologia/morfologia.....	121
5.1.2	Aspecto contaminação das águas	122
5.1.2.1	Carga orgânica remanescente da população.....	123
5.1.2.2	Agricultura urbana.....	124
5.1.2.3	Síntese do aspecto contaminação das águas superficiais.....	125
5.1.3	Aspecto estabilidade de encostas.....	127
5.1.3.1	Morfologia.....	127
5.1.3.2	Geologia	129
5.1.3.3	Declividade.....	130
5.1.3.4	Síntese do aspecto estabilidade de encosta.....	132
5.1.4	Aspecto risco de inundação	133
5.1.4.1	Declividade.....	133
5.1.4.2	Ordem dos cursos de água.....	134
5.1.4.3	Forma das sub-bacias	135
5.1.4.4	Índice de impermeabilidade	136
5.1.4.5	Síntese do aspecto risco de inundação.....	137
5.1.5	Fragilidade a erosão.....	138
5.1.5.1	Solos	138
5.1.5.2	Entorno dos cursos d'água.....	140
5.1.5.3	Declividade.....	140
5.1.5.4	Síntese do aspecto fragilidade a erosão	142
5.2	Fragilidades ambientais do meio biótico	144
5.2.1	Aspecto fauna e flora terrestre.....	144
5.2.1.1	Flora terrestre.....	144
5.2.1.2	Fauna terrestre	146
5.2.1.3	Síntese do aspecto fauna e flora terrestre	147
5.2.2	Aspecto áreas de preservação permanente	148
5.3	Fragilidades ambientais do meio antrópico	150
5.3.1	Aspecto concentração ou índice de urbanização	151
5.3.1.1	Índice de impermeabilidade do solo.....	151
5.3.2	Aspecto infra-estrutura urbana	153
5.3.2.1	Malha viária.....	153
5.3.3	Aspecto conflito de uso e ocupação do solo.....	155
5.3.3.1	Uso e ocupação do solo	155
5.3.3.2	Áreas de Preservação Permanente.....	156
5.3.3.3	Síntese do aspecto conflito de uso e ocupação do solo	157
6	ANÁLISE INTEGRADA PARA EXPANSÃO URBANA E LICENCIAMENTO AMBIENTAL	160
6.1	Análise integrada.....	160

6.1.1 Meio físico.....	160
6.1.2 Meio biótico.....	164
6.1.3 Meio antrópico.....	166
6.2 Cenários.....	170
6.2.1 Cenário atual do modelo.....	170
6.2.2 Cenários especiais.....	171
6.2.2.1 Cenário atual de dados estimados.....	171
6.2.2.2 Cenário atual de dados medidos.....	173
6.2.3 Cenário conservativo ou ideal.....	174
6.2.4 Cenário de recuperação urbana.....	175
6.3 Ensaios de sensibilidade.....	178
6.3.1 Aspecto estabilidade de encosta.....	178
6.3.1.1 Fragilidade da estabilidade de encosta, após ensaios de sensibilidade.....	180
6.3.2 Aspecto fragilidade à erosão.....	181
6.3.2.1 Fragilidade à erosão após análise de sensibilidade.....	182
6.3.3 Aspecto geologia/morfologia.....	183
6.3.3.1 Fragilidade da geologia/morfologia após análise de sensibilidade.....	184
6.3.4 Aspecto risco de inundação.....	185
6.3.4.1 Fragilidade do risco de inundação após análise de sensibilidade.....	185
6.3.5 Síntese da sensibilidade do meio físico.....	186
6.3.6 Blocos temáticos.....	187
6.3.7 Cenários após ensaios de sensibilidade.....	189
6.4 Análise de consistência.....	190
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	197
7.1 Conclusões.....	197
7.2 Recomendações.....	201
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	203
ANEXOS.....	214
ANEXO A.....	215
Quadro A1 – Índice de vulnerabilidade das águas subterrâneas.....	215
ANEXO B.....	218
Quadro B1 – Carga orgânica remanescente por unidade censitária na bacia hidrográfica do Arroio Capivara, Porto alegre- RS.....	218
ANEXO C.....	221
Quadro C1 - Lista da fauna terrestre.....	221
ANEXO D.....	226
Quadro D1 – Lista da flora terrestre.....	226

1 INTRODUÇÃO

A análise de fragilidades ambientais como subsidio para o processo de avaliação ambiental integrada em bacia hidrográfica urbana parte do princípio do estudo da inter-relação dos meios físicos, bióticos e antrópicos levando em consideração o uso do solo, transporte, energia, infra-estrutura, aspectos socioeconômicos, entre outros. Esta análise está fundamentada na visão holística do ambiente, assim como no pressuposto de que a generalização das condições satisfatórias de vida de uma população está intrinsecamente ligada à qualidade do ambiente (GUAPYASSSÚ e HARDT, 1998). Sob esta ótica, qualquer alteração no ambiente repercute diretamente no bem estar da população e, qualquer alteração é viável se resultar em benefícios coletivos, tanto diretos como indiretos, sem alterar os processos ecológicos essenciais do ambiente, ou pelo menos causar o mínimo de impacto.

Os processos ecológicos essenciais são aqueles responsáveis pela manutenção da dinâmica dos ecossistemas e sua alteração intensiva resulta em processos de degradação ambiental, muitas vezes irreversíveis, ocasionando sérios danos à biótica aquática e terrestre. A forma como o ser humano se apropria e transforma o espaço responde em grande parte, aos problemas ambientais existentes. Como agente modificador do ambiente pode provocar vários danos ao ecossistema aquático, terrestre e, acelerar o processo de degradação destes recursos, alterando a qualidade de vida de um ambiente.

Nas últimas décadas ocorreram profundas mudanças tecnológicas, econômicas, sociais e, principalmente ambientais. Os sistemas ambientais, frente às intervenções humanas apresentam maior ou menor fragilidade, em virtude de suas características “genéticas”. Qualquer alteração nos diferentes componentes da natureza (relevo, solo, vegetação, clima e recursos hídricos, entre outros) acarreta no comprometimento da funcionalidade do sistema, quebrando o seu estado de equilíbrio dinâmico. As variáveis tratadas de forma integrada possibilitam obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais. Assim, a identificação dos ambientes naturais e suas fragilidades potenciais e emergentes conduzem a uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial, servindo de base para o zoneamento e fornecendo

subsídios à gestão do território. Desta forma, estudos referentes às fragilidades ambientais são de extrema importância ao planejamento ambiental (SPÖRL e ROSS, 2004).

O ser humano inicia sua relação com a natureza a partir do momento da ocupação e utilização do ambiente natural, por meio de sua intervenção. O ambiente urbano é resultado da intervenção humana sobre o ambiente natural, ou seja, das ações da sociedade sobre os sistemas físicos naturais. A partir desta relação, processos morfo-dinâmicos se iniciam alternando as propriedades originais do ambiente e quando intensificados podem ocasionar riscos ambientais, tornando mais ou menos frágil um ambiente.

O uso do solo urbano reflete a relação sociedade e natureza, influenciada pela estrutura social complexa. Santos (1996) descreveu as categorias de análise do espaço urbano: forma, estrutura, processo e função que devem ser considerados entre si. Caracterizam quatro termos disjuntivos associados, representando realidades espaciais, considerando as relações dialéticas entre elas.

Com a crescente urbanização, associa-se o aumento da impermeabilidade e conseqüentemente, mais água escoar em menor tempo. O aumento da impermeabilidade pela urbanização diminui a capacidade de armazenamento do solo e a rugosidade, e facilita o escoamento pluvial carregando materiais orgânicos e inorgânicos em suspensão ou solúveis aos mananciais, alterando a hidrógrafa e aumentando significativamente a carga de poluentes. Para tanto, é conveniente que a área urbana seja planejada de forma integrada (TUCCI, 2002).

O zoneamento espacial, de todas as potencialidades como das restrições do meio natural e construído constitui-se em um marco de referência estratégico para conceber e desenhar o ordenamento territorial. Não há “ordenamento” sem um zoneamento prévio que possibilite a integração interdisciplinar de todos os conhecimentos e percepções da diversidade física, biológica, econômica e sócio-dinâmica das paisagens, com a identificação de modelos de ocupação e conservação da natureza, dentro de uma perspectiva, em longo prazo, de proteção das disponibilidades ecológicas. O ordenamento territorial, um processo de planejamento que deve buscar o desenvolvimento sustentado, envolve uma estratégia para melhorar e disciplinar as relações entre os aspectos temáticos ecológicos e sócio-econômicos (GARCIA, 2012).

Portanto, surge a pergunta: na atual conjuntura, as ocupações das áreas de menor fragilidade ambiental urbana atenderiam a demanda populacional e o atual desenvolvimento no meio urbano? Algo tem-se de concreto, a ocupação das áreas de menor fragilidade ambiental urbana contribuem para uma sistema urbano mais sustentável e a adoção na prática pode nortear as ocupações urbanas futuras, trazendo suporte para um melhor ordenamento ambiental urbano, por meio do zoneamento ambiental.

A problemática urbana consiste na ocupação das áreas de grande fragilidade ambiental e uma alternativa proposta é o zoneamento urbano, por meio da análise e síntese das fragilidades ambientais dos meios físico, biótico e antrópico para a expansão urbana, propondo diferentes cenários para tomada de decisão. Para tanto, lança-se a seguinte hipótese:

► A análise de fragilidades ambientais como subsídio ao processo de avaliação ambiental integrada resulta em redução de incertezas nos processos de tomada de decisão referentes à expansão urbana e ao licenciamento ambiental.

Para subsidiar o processo de avaliação ambiental integrada, por meio da análise de fragilidade ambiental, este estudo requer a integração das variáveis que envolvem o ambiente urbano. Ambiente este, que geralmente é caracterizado pela ausência de capital natural, bem como da modificação deste capital, dando espaço à infra-estrutura urbanizada.

A atual configuração do espaço urbano demanda novas formas de atuação nos processos de planejamento a fim de torná-los mais qualificados e o sistema ambientalmente mais sustentável. Considera-se importante, nesta pesquisa, os locais apropriados para a construção de moradias com o menor impacto ambiental negativo, o menor risco de inundações, menor índice de vulnerabilidade das águas subterrâneas, o menor comprometimento da flora e fauna e de movimentos de massa, sempre levando em consideração a conservação do ambiente.

Para tanto, o presente trabalho vem ao encontro desta temática visando contribuir, através dos objetivos propostos a seguir, em uma nova forma de planejar o espaço urbano para amenizar os impactos ambientais negativos e tentar torná-lo mais sustentável.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Assessorar o processo de tomada de decisões referentes à expansão urbana e licenciamento ambiental, em situação de carência de dados, por meio da análise de fragilidade ambiental no intuito de subsidiar um processo de avaliação ambiental integrada.

1.1.2. Objetivos específicos

- i) Estabelecer um modelo de avaliação da fragilidade ambiental para bacias hidrográficas urbanas, tendo em vista a análise de consistência;
- ii) Determinar a inter-relação das fragilidades dos meios, físico, biótico e antrópico, a fim de apontar as áreas de menor fragilidade ambiental para a expansão urbana;

iii) Propor diretrizes para a tomada de decisão, tendo em vista os cenários e medidas sustentáveis para o processo de expansão urbana e licenciamentos ambientais.

1.2 Estruturação da tese

No primeiro capítulo, a introdução, trata das considerações preliminares, por meio da assertiva considerando os objetivos, a problemática urbana, a justificativa e os motivos da realização do estudo.

O segundo capítulo refere-se às concepções teóricas que deram suporte a proposta metodológica e a temática de estudo. Este capítulo trata das fragilidades ambientais da paisagem, evolução da avaliação ambiental integrada (AAI), referências conceituais, gestão integrada de bacias urbanas, indicadores para AAI em bacia urbana., assim como, vulnerabilidade e cenários ambientais.

O terceiro capítulo aborda a metodologia que foi utilizada durante a pesquisa, a localização do objeto de estudo, a estratégia metodológica e a definição do modelo conceitual de fragilidade ambiental para o zoneamento das áreas frágeis para expansão urbana.

No quarto capítulo é apresentada a caracterização e análise da paisagem, por meio da apresentação dos mapas básicos e temáticos que alavancaram este estudo.

O quinto capítulo discute as fragilidades ambientais na bacia hidrográfica urbana, através do mapeamento das variáveis indicadoras, de cada aspecto temático, tanto do meio físico, biótico como o antrópico de forma desagregada e integrada.

No sexto capítulo procede-se à análise integrada para expansão urbana e licenciamentos ambientais, através da determinação das fragilidades ambientais de forma integrada, utilizando a cartografia de síntese para compor a integração dos levantamentos e a definição dos cenários para tomada de decisão, ensaios de sensibilidade e análise de consistência.

Por último, as conclusões com as efetivas recomendações para bacia hidrográfica urbana, no propósito de auxiliar na tomada de decisão. Na sequência, apresentam-se as referências bibliográficas utilizadas e os anexos.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO

A busca passa a ser “fazer uso” e não “consumir” a paisagem, estabelecendo um caminho de equilíbrio por meio de ações e atividades que façam elos compatíveis com os elementos do sistema e com a sua resiliência. Em síntese, quanto mais nos integrarmos aos sistemas naturais dentro de seus caminhos no tempo e no espaço, mais facilmente será estabelecida a comunicação entre nos e o planeta em que vivemos (Caldeyro e Santos, 2007).

Neste capítulo, apresentam-se os instrumentos teóricos e conceituais utilizados para caracterizar e construir o objeto de pesquisa. O referencial teórico - metodológico inicia com a abordagem de fragilidades ambientais e avaliação ambiental integrada que nortearam o desenvolvimento do trabalho, por meio da evolução e análise de conceitos considerados relevantes para a pesquisa. A partir da importância e de estudos sobre fragilidades ambientais na paisagem e da avaliação ambiental integrada foi possível estender a discussão para a problemática da urbanização, gestão integrada de águas urbanas em bacia hidrográfica, bem como, trazer um resgate das principais variáveis indicadoras abordadas em ambiente urbano, assim como a vulnerabilidade e a importância da valoração de cenários em contribuição da tomada de decisão.

2.1 Análise de Fragilidades Ambientais na Paisagem

A paisagem é formada de elementos geográficos que se articulam uns em relação aos outros. Desse modo, alguns pertencem ao domínio natural físico, como o substrato geológico, a geomorfologia, o clima, o solo e a drenagem. Os demais se constituem ao domínio vivo, a biosfera, que é formada pelo conjunto das comunidades florísticas e faunísticas que nascem, se desenvolvem e dissolvem utilizando o suporte constituído pelo domínio natural abiótico (DOLFFUS, 1991; DE LIMA, 2003). Acrescenta-se a esta paisagem o ser humano como agente transformador dos elementos naturais, considerado o ator decisivo, que transforma e

altera o meio natural. O ser humano modifica os elementos constituintes da paisagem, inserindo em espaços naturais componentes que respondem às suas necessidades.

O estudo de fragilidade ambiental, sob ótica integradora, torna-se importante para o planejamento urbano, bem como, uma forma de reavaliar os problemas ambientais, compatibilizando suas características naturais, servindo de apoio para tomada de decisões. Para que se possa realizar um planejamento eficaz de intervenções é necessário que os componentes do estrato geográfico sejam analisados de forma integrada, tendo em vista, que os fluxos de matéria e energia são interligados estabelecendo trocas de energia.

Os estudos integrados de uma determinada unidade de planejamento pressupõem o entendimento da dinâmica de funcionamento do ambiente natural com ou sem as intervenções humanas. Assim o mapeamento de unidades de paisagens identificadas sob a perspectiva de suas fragilidades, frente às condições materiais e possíveis intervenções humanas, é de valiosa importância (ROSS, 2001).

Assim como Matos Fierz (2008), Cruz, *et al.*, (2012) também destacam que a análise de fragilidades ambientais teve sua origem nos estudos dos geomorfólogos, que gradativamente incorporaram aspectos da teoria geral de sistemas e do equilíbrio dinâmico. Assim, a abordagem utilizada pelos geomorfólogos partiu do pressuposto de que a “base física condiciona todo o devir das relações com os meios biótico e antrópico” (CRUZ, *et al.*, 2012, p.4). Este pressuposto conceitual impede uma evolução da análise de fragilidades ambientais permitindo uma abordagem integrada da paisagem.

A dinâmica da funcionalidade baseia-se no conceito de Unidade Ecodinâmica preconizada por Tricart (1977). Dentro desta concepção ecológica, o ambiente é analisado sob o enfoque da Teoria do Sistema que parte do pressuposto de que na natureza, as trocas de energia e matéria se processam através de relações em equilíbrio dinâmico. Esse equilíbrio é freqüentemente alterado pelas intervenções humanas, gerando estados de desequilíbrios temporários, ou até mesmo permanentes (ROSS, 1994).

Para tanto, o conceito de sistema é o instrumento lógico abordado por Tricart (1977) a ser utilizado para estudos de problemas no meio ambiente, por permitir a análise dos seus diversos componentes de maneira dinâmica e em conjunto, favorecendo uma ação mais eficaz sobre o meio ambiente, permitindo a integração de conhecimentos isolados. Além disso, permite identificar as modificações desencadeadas pela ação humana sobre a paisagem.

Desse modo, a paisagem pode ser caracterizada como natural ou modificada. A primeira refere-se a um meio que não sofreu alterações, não foi exposta a ação antrópica, representada por regiões que guardam restrições à fixação humana e as suas atividades. A segunda é aquela

que sofreu a interferência humana, sendo direta ou indiretamente atingida (DOLFFUS, 1991; DE LIMA, 2003).

A paisagem pode ser classificada em seis níveis taxonômicos (zona, domínio, região, geossistema, geofácies e geótopo) (BERTRAND, 1977). A partir de unidades de paisagem Monteiro (2000) trabalha com o modelo de geossistema onde os elementos naturais que compõem o geossistema são utilizados em primeiro momento, para a realização da divisão de um espaço geográfico em compartimentos. Por meio dessa compartimentação, o pesquisador consegue organizar o espaço, de acordo com o objetivo da pesquisa. Ao compartimentar um espaço em unidades de paisagem, deve-se realizar a correlação dos dados obtidos com as informações fornecidas do meio natural e, portanto, levar em consideração a influência dos elementos sociais sobre o ambiente.

A partir deste entendimento, a paisagem pode apresentar uma fragilidade potencial e/ou fragilidade ambiental. Para Stolle *et al.*, (2007) a fragilidade potencial de uma área pode ser entendida como a vulnerabilidade natural que um ambiente apresenta em função de suas características físicas, como a declividade e o tipo de solo, já a fragilidade ambiental considera, além das características físicas, os graus de proteção que os diferentes tipos de uso e cobertura vegetal exercem sobre o ambiente.

O estudo da fragilidade ambiental é precedido por uma classificação ou organização dos elementos que compõem a porção do espaço a ser estudada, considerando aspectos naturais, bióticos e antrópicos. Assim, o estudo da análise da fragilidade ambiental em subsídio da avaliação ambiental integrada em bacia hidrográfica urbana, passa pela análise de seus componentes, como solo, relevo, vegetação, fauna, grau de uso antrópico, entre outros. As fragilidades são notas atribuídas para variáveis indicadoras permitindo identificar áreas da maior a menor sensibilidade à ocupações urbanas.

Nessa linha de análise, vários autores (Ross, 1994; Crepani *et al.*, 1996; Ghezzi, 2003; Spörl e Ross, 2004; Kawakubo *et al.*, 2005; Stolle *et al.*, 2007); abordam a metodologia de fragilidades ambientais. Ross (1994) determinou o Modelo de Fragilidade Potencial Natural com Apoio nos Índices de Dissecção do Relevo. Esta metodologia elencou o Modelo de Fragilidade Potencial Natural com apoio nas Classes de Declividade também abordado por Ross (1994). Os estudos de Ghezzi (2003), Spörl e Ross (2004) e Kawakubo *et al.*, (2005) estão baseadas na proposta metodológica de Ross (1994) que estuda a relação do espaço geográfico em conjunto com a análise espacial.

A metodologia da fragilidade empírica proposta por Ross (1994) fundamenta-se no princípio de que a natureza apresenta funcionalidade intrínseca entre seus componentes físicas

e bióticas. Os procedimentos operacionais para a sua elaboração exigem num primeiro instante os estudos básicos do relevo, solo, geologia, clima, uso da terra e cobertura vegetal entre outros. A seguir, essas informações são analisadas de forma integrada resultando em produto síntese que expressa os diferentes graus de fragilidade que o ambiente possui em função de suas características genéticas (KAWAKUBO, *et al.*, 2005). A partir deste entendimento a definição de fragilidade ambiental está baseada no conceito de que “na natureza as trocas de energia e matéria se processam através de relações em equilíbrio dinâmico”. Desta forma, a fragilidade é causada pela quebra do equilíbrio pela intervenção antrópica.

A metodologia de Fragilidade Potencial Natural com apoio nas Classes de Declividade segundo Spörl e Ross (2004) é uma derivação dos procedimentos apresentados no modelo anterior. Ao invés de utilizar os índices de dissecação do relevo como suporte para a confecção da carta-síntese de fragilidade, utilizou as classes de declividade de fragilidade ambiental. Outra metodologia semelhante foi a proposta de Kawakubo *et al.*, (2005).

Crepani *et al.*, (1996) com o objetivo de subsidiar o Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia, por meio do Modelo de Fragilidade Potencial Natural com apoio em UTB's – Unidades Territoriais Básicas desenvolveu uma metodologia para elaborar mapas de Vulnerabilidade Natural à Erosão. Inicialmente esta metodologia consiste na elaboração de um mapa de Unidades Homogêneas de Paisagem, ou Unidades Territoriais Básicas (UTB's), obtido através da análise e interpretação de imagem TM/LANDSAT. Segundo momento, associar este mapa preliminar de unidades homogêneas às informações temáticas preexistentes. Como resultado final, esta metodologia apresenta a vulnerabilidade de cada unidade ambiental em função das informações provenientes de cada tema avaliado: geologia, geomorfologia, vegetação, solos e clima.

Nestas abordagens o ser humano, aparece unicamente como agente perturbador do ambiente, assim sociedade e natureza são analisadas separadamente. Com a introdução da ecologia de paisagem, este paradigma passa a ser rompido, e a sociedade passa a ser parte integrante da natureza (Naveh e Lieberman, 2001). A partir destes conceitos, obteve-se uma visão ampliada sobre o conceito de fragilidade ambiental, inserindo conceitos como sistemas auto-organizativos, estabilidade e resistência ou resiliência quanto as perturbações. Assim, o ser humano em sociedade adquire um papel de dualidade, em certo momento constitui-se em agente de perturbações, em outro em objeto de impacto ambiental (CRUZ, *et al.*, 2012).

Assim, as propostas metodológicas se remetem ao estudo integrado dos aspectos físicos do ambiente e ao grau de proteção que os diferentes tipos de uso cobertura vegetal

exercem sobre o ambiente. A partir do cruzamento gera-se um produto síntese que expressa os diferentes graus de fragilidade que o ambiente possui em função de suas características genéticas. Deste entendimento, tem-se o estudo integrado das variáveis físicas que envolvem o meio e, posteriormente, a sobreposição, a estas, o uso e ocupação do solo, onde o homem é tratado como agente transformador da paisagem. O meio biótico também deve ser integrado a esta abordagem uma vez que é parte integrante da paisagem e interfere ou influencia na integridade do meio ambiente.

A fragilidade deve atender a um determinado regime de perturbações. Alguns sistemas podem apresentar resistência a um tipo de perturbações e para outros ser degradador. Assim, os estudos de fragilidade não podem ser generalizados. Um sistema não é frágil ou resistente “genericamente”, mas sim frente a um tipo de perturbação estabelecido. Perante a análise de fragilidades ambientais, o mapeamento da fragilidade pode ser realizado em qualquer ambiente, mesmo que não haja proposições concretas de intervenções. Porém, é necessário definir o tipo de intervenção que vai ser analisada e a interferência que pode ocorrer nos processos ambientais para a estabilidade do sistema (CRUZ, *et al.*, 2012).

No contexto geral, os estudos voltados à geografia física analisam variáveis físicas que geram uma síntese e integram o ser humano com o intuito de apontar áreas de conflito sobre o meio. A análise do meio biótico e antrópico são tão importantes quanto o meio físico, tendo em vista que há uma relação direta entre os meios, físico, biótico e antrópico. Desta forma, o meio físico responde diretamente pela interferência do homem sobre o meio, determinando uma relação direta sobre a fragilidade ambiental. Pois, qualquer alteração sobre o meio físico repercute diretamente sobre o biótico e antrópico, pela troca de energia entre o sistema. A presente proposta metodológica vai além, ao abordar a integração, das variáveis físicas, bióticas e antrópicas e tornar o estudo mais detalhado e abrangente, dentro de uma visão holística, na qual o homem provoca e sofre a ação do impacto negativo sobre o ambiente urbano.

Para tanto, o estudo da fragilidade ambiental aliado a visão integrada, entre natureza e sociedade, deve contemplar o meio físico, biótico e antrópico, uma vez que o ambiente natural pode apresentar fragilidades e, com a interferência humana tende a intensificar. Isto se deve à relação direta que os meios físico, biótico e antrópico exercem um em relação ao outro pela troca de energia resultando na qualidade do sistema. Cabe ao pesquisador, ao adotar esse conceito, observar e entender quais variáveis são relevantes para o estudo e integrar os elementos da paisagem.

2.2 Avaliação Ambiental Integrada

Atualmente existem várias definições sobre avaliação ambiental integrada. Na prática, este conceito, envolve um grupo de profissionais de diferentes áreas, permitindo uma avaliação holística das questões do meio ambiente. Para a *European Environment Agency* (EEA) AAI é um processo interdisciplinar de identificação, análise e avaliação de todos os processos naturais e humanos, bem como suas interações que visam determinar a qualidade do ambiente e dos recursos, apropriados às escalas espaciais e temporais, tanto do presente como do futuro, facilitando a elaboração e implementação de políticas e estratégias (NERI, 1997). Este conceito reforçado pela EEA, complementa que é um processo, além de interdisciplinar, social que une conhecimento e ação de políticas públicas no contexto de decisões (EEA, 2012). Este conceito também é abordado por Tucci *et al.*, (2012).

Segundo o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) a AAI e seu relatório tentam mostrar as relações de causa-efeito da ação humana sobre o ambiente natural e o impacto ambiental resultante do estado de mudança do ambiente e bem-estar humano. O resultado final da avaliação ambiental deve estar além do saber do estado do ambiente. Deve conduzir aos políticos e outras parte interessadas, algumas orientações sobre a melhor forma de gerenciar o ambiente. Para alcançar este objetivo, as informações devem ser integradas com outros dados sociais e econômicos e informações para auxiliar na formulação de políticas ambientais (UNEP, 2003).

Assim, a avaliação ambiental integrada incorpora todo o processo de planejamento frente aos desafios ambientais, buscando reunir políticas que promovem ações e modos de vida mais sustentáveis. O crescente interesse em dados ambientais, sociais e econômicos, assim como informações referentes ao desenvolvimento sustentável, facilitam a análise integrada frente a interação complexa entre o ser humano e o seu ambiente. É essencial considerar as políticas que visam o desenvolvimento sustentável, pois, este conceito introduziu novos desafios para o processo de avaliação ambiental, que implicam na conservação do ambiente e nas interações humanas frente aos impactos ambientais introduzidos.

É necessário o desenvolvimento de medidas apropriadas para avaliar pressões e mudanças no ambiente, e com isso, reduzir ou conter essas pressões visando maior sustentabilidade. Luiten (1998) citado por Monkhouse e Farmer (2003) ao aprofundar a temática, descrevem as principais medidas e tendências que visam à melhoria do ambiente. O

mesmo autor enfatiza a coleta de dados, incluindo a pesquisa, monitoramento e/ou processos da modelagem científica a análise estatística dos dados coletados a fim de identificar diferentes tendências, a avaliação, apresentação de conclusões sobre a evolução e prioridades, bem como o apoio e aprovação de políticas e orientações dos resultados para sua implementação.

A avaliação ambiental integrada não é uma temática simples, inclui todo “processo desde a coleta de dados até a sua implementação”. Haing (1998 citado por MONKHOUSE e FARMER, 2003) destacam a “importância do processo político na tomada de decisões independentemente do conhecimento científico adquirido e das situações dos estados-membros” (Tradução nossa). Esta importância se dá através da dificuldade em reunir cientistas de diferentes áreas, na escolha de variáveis adequadas, atribuição de pesos, tomada de decisões corretas perante os cenários propostos e sua implementação definitiva.

Esta temática requer a combinação do conhecimento de vários profissionais de modo que a tomada de decisão parta de uma visão integradora. Os problemas ambientais, a nível mundial, são complexos e desafios são lançados ao ser humano a todo instante. Para tanto, necessita-se de uma forte estrutura para atender as problemáticas ambientais e suas interações com a sociedade, incluindo os processos políticos e os econômicos.

A análise integrada e as políticas ambientais referem-se a uma série de processos e métodos que são utilizados para analisar o estado do ambiente, dependendo da forma como a natureza foi afetada pelas atividades humanas e pelas políticas públicas. Define-se avaliação ambiental integrada como um processo de produção e comunicação política de informações relevantes sobre as interações do ambiente natural e da sociedade. Um planejamento e conhecimento do público alvo para execução dos planos são fundamentais para o sucesso de sua implementação.

As interações entre a sociedade e o meio ambiente podem ser definidas como pressões que o ser humano coloca sobre o ambiente, o estado como a condição resultante do ambiente e a resposta sobre o ambiente. Essas três categorias são consideradas componentes básicos no modelo pressão-estado-resposta (PSR) subjacente a avaliação ambiental integrada.

As pressões são identificadas, muitas vezes, pelas forças subjacentes, tais como o crescimento populacional, o consumo ou a pobreza. As pressões sobre o ambiente, muitas vezes, são as perspectivas, políticas voltadas à abordagem das questões ambientais. Informações referentes à pressão tendem a estar prontamente disponíveis, uma vez que são derivados de dados sócioeconômico (PINTÉR, *et al.*, 2000).

O estado refere-se ao estado do ambiente, resultante das pressões sofridas pelo ambiente, como exemplo a degradação da Terra ou o desmatamento. O estado do ambiente afeta a saúde humana e o bem - estar, bem como o padrão socioeconômico da sociedade. Conhecer o estado do ambiente e seus efeitos transfere responsabilidades para os tomadores de decisão e o poder público (PINTÉR, *et al.*, 2000).

O componente de resposta do modelo pressão-estado-resposta corresponde à tomada de decisões da sociedade, coletivamente ou individualmente, para mitigar ou prevenir os impactos ambientais negativos por meio da conservação dos recursos naturais e da apropriação correta do ambiente. As respostas podem incluir ações reguladoras, despesas ambientais ou de investigação, opinião pública, preferências do consumidor, mudanças nas estratégias de gestão e fornecimento de informações ambientais. Indicadores satisfatórios ou medidas de resposta social tendem a ser os mais difíceis de interpretar e desenvolver (PINTÉR, *et al.*, 2000).

A AAI deve incorporar políticas que contemplem todo o sistema visando compreender as interações da sociedade e as questões ambientais, prevendo mudanças na melhoria do sistema. A melhor maneira de alcançar este objetivo é envolver aqueles que precisam tomar as decisões e os que são afetados. A participação e cooperação de grupos de diversos interesses são essenciais para alcançar estas metas desafiadoras em todo o processo.

O relatório de avaliação ambiental integrada auxilia na comunicação entre ciência e política. A importância deste processo se dá pela avaliação institucional e a comunicação que possibilitam fóruns de diálogos entre as partes interessadas e a sociedade em geral. Assim, a ciência e a política atuam conjuntamente e para um processo participativo é necessário representatividade, mas na elaboração de relatórios, este número deve ser limitado para tornar o processo mais eficiente e eficaz.

No âmbito federal, a discussão sobre a AAI iniciou em 2003, momento em que o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA passou a exigir, para o licenciamento ambiental de usinas hidrelétricas, que a bacia hidrográfica deveria ser considerada como área de influência dos estudos, conforme Resolução do CONAMA nº 001/86. O primeiro estudo de AAI, foi efetuado pela Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE, 2007), vinculada ao Ministério das Minas e Energia (MME), com Termo de Referência sob responsabilidade do Ministério do Meio Ambiente.

No Rio Grande do Sul, os estudos de AAI iniciaram com a bacia do Taquari – Antas (FEPAM/UFRGS, 2001) elaborado sob influência do relatório final da Comissão Mundial de Barragens (WCD, 2000) e se estenderam para as outras bacias hidrográficas. Nesta linha, com

avanços metodológicos, foram elaborados os estudos da bacia dos rios Ijuí, Piratinim, Icamaquã e Butuí, afluentes do rio Uruguai (FEPAM/UFRGS, 2004) e da bacia dos rios Apuaê-Inhandava, afluentes do rio Pelotas (FEPAM/UFSM, 2005).

O MMA iniciou uma série de discussões com o MME sobre a necessidade de realizar a Avaliação Ambiental Integrada de bacia hidrográfica, procurando, como estratégia minimizar os conflitos surgidos nos licenciamentos de empreendimentos hidrelétricos. Esses conflitos, caracterizados por sua natureza estratégica, deveriam, em princípio, ser identificados previamente à etapa de licenciamento ambiental dos empreendimentos, de modo a favorecer a elaboração de soluções nas diferentes fases de sua implementação, reduzindo incertezas institucionais e de investimento.

O objetivo do MMA foi de estabelecer as diretrizes gerais a serem adotados pelo IBAMA para futuros processos de licenciamento ambiental dos empreendimentos em planejamento/projeto na bacia do rio Uruguai, levando em consideração os estudos de aprimoramento metodológico da AAI da bacia hidrográfica do Rio Uruguai. Para esse aprimoramento, o MMA buscou parcerias para executar o projeto de pesquisa, no qual foram contempladas as universidades federais do Pampa – UNIPAMPA e de Santa Maria – UFSM.

Desse modo, no Brasil desenvolveram-se duas escolas com abordagens diferenciadas sobre a AAI, que segundo Cruz *et al.*, (2012) foram denominadas de escola hidroeconômica e hidroecológica. O foco principal do estudo remete sobre o que se pretende hierarquizar, trechos de rios ou empreendimentos? A escola hidroeconômica, abordada no Manual de Inventário da ELETROBRAS (ELETROBRAS, 2007), define que os empreendimentos são prioritários dos estudos e a escola hidroecológica (UNIPAMPA/UFSM, 2011) afirma que é o ambiente, no caso de fragilidade frente à fragmentação de rios provocada pelas barragens, os trechos de rios de uma bacia hidrográfica. Para os autores esta diferença é uma consequência das visões diferentes da AAI como parte da Política Energética ou Ambiental.

A presente tese trás um enfoque diferencial por tratar da análise de fragilidade ambiental como subsidio a AAI, com uso de escala grande e em ambiente urbano. Para dar suporte a este estudo, o Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre, Hasenack *et al.*, (2008), assim como o Atlas Ambiental de Porto Alegre - Menegat, *et al.*, (2006), caracterizaram um referencial importante, tanto por fornecerem uma base cartográfica e teórica do meio físico, assim como, o Atlas Ambiental por contribuir na elaboração do mapa potencial da fauna e flora terrestre contemplando variáveis primordiais do meio biótico.

Para tornar consistente esta temática em escala de bacia hidrográfica urbana elaborou-se um modelo conceitual. O modelo conceitual concentra-se no mais alto nível de abstração e

leva em conta a forma como as estruturas serão criadas para armazenar os dados, ou seja, descreve a informação que será processada pelo sistema para realizar o trabalho. Desta forma, o modelo conceitual proposto visa, entre outras coisas, auxiliar no processo de tomada de decisão na área de planejamento urbano e busca representar, detalhadamente as informações referentes aos meios físico, biótico e antrópico em ambiente urbano.

2.3 Referências conceituais

O Estudo de Impacto Ambiental (EIA) tem como princípio avaliar os impactos dentro da sua área de influência, limitando-se geralmente, quanto aos aspectos integradores de cada tipo de projeto. Desse modo, o estudo não envolve a avaliação de todos os impactos existentes de montante a jusante daquele local, mas sim de elementos que individualizam o projeto (TUCCI e MENDES, 2006).

A Avaliação Ambiental Integrada (AAI) é traduzida para o inglês de *Integrated Environmental Assessment*.

A partir da evolução do estudo referente à AAI, o MMA (2009) usa a definição que “Análise Ambiental Integrada (AAI) é a construção de produtos sintéticos que integram informações ambientais sobre um determinado território”. Assim, proporciona ao Estado um poderoso instrumento de planejamento e gestão territorial disponibilizando bases, sobre as quais, pode ser estabelecido o planejamento de investimentos e ações de políticas públicas, por exemplo, o saneamento, unidades de conservação e inventários hidrelétricos.

As Variáveis Indicadoras descrevem o status de padrões e processos ambientais que respondem a um determinado regime de perturbações (MMA, 2009). Os indicadores são selecionados a partir de informações de bases georreferenciadas, como mapas de declividade, solos, geologia, a fim de obter, com o uso de técnicas de geoprocessamento mapas resultantes que servem para classificar os locais em escala que varia da “Menor Fragilidade” a “Maior Fragilidade” para a expansão urbana.

Os Aspectos Temáticos são formados por um conjunto de variáveis que apresentam alto grau de associação dentro do ambiente urbano. De forma que, ao serem agrupadas estas variáveis são analisadas, primeiramente dentro deste grupo, ou seja, dentro do aspecto temático e posteriormente, entre os aspectos temáticos. Desta forma, ao compor os aspectos temáticos, estes serão analisados entre eles (Aspecto temático X aspecto temático X aspecto temático) formando a análise do bloco temático. Desse modo, o aspecto temático é organizado

de forma que possa atribuir pesos a um determinado número de variáveis, e de modo, que a ponderação seja significativa para a avaliação. Do contrário, em virtude do elevado número de variáveis sem esta subdivisão, por Aspecto temático, poderá mascarar sua importância.

Em outras palavras, MMA (2009) define Aspecto Temático, como resultado da combinação linear ponderada de variáveis indicadoras relacionadas a padrões ou processos fortemente relacionados. Constituindo o primeiro nível de agregação da informação, originando os mapas temáticos.

Os Blocos Temáticos consistem ao segundo nível de agregação, neste estudo, constituindo-se na combinação linear ponderada dos mapas de aspectos temáticos agrupados para os ambientes físico, biótico e antrópico (MMA, 2009).

A Avaliação ou Análise Multicritério consiste na padronização das variáveis contínuas como os mapas de geocampos, isto é, dos valores atribuídos para cada local em função de cada critério, os quais foram considerados no processo de análise para a seleção de locais para expansão urbana, de tal forma que possibilita o cruzamento das informações (Adaptado de TREVISAN, 2008).

Deste modo, a análise multicritério é definida como um conjunto de técnicas e métodos aplicados para auxiliar ou apoiar a tomada de decisões, dada uma multiplicidade de critérios, estabelecendo uma relação de preferências entre as alternativas pré-avaliadas. Ela lida com problemas de otimização de processos (ALMEIDA e COSTA, 2003).

A Fragilidade Ambiental refere-se a “qualquer perturbação dos padrões e processos na bacia hidrográfica que pode provocar uma degradação na qualidade ambiental da bacia hidrográfica (meios terrestre e aquático, barreiras físicas ou qualitativas, permeáveis ou impermeáveis)”. As fragilidades são notas atribuídas para variáveis indicadoras dos processos e que podem ser mapeadas na escala do estudo. Essas notas especializadas permitem identificar as áreas com maior ou menor sensibilidade às perturbações, permitindo discriminar regiões mais ou menos frágeis para alterações antrópicas (MMA, 2009).

O cenário homogêneo é aquele que resulta da composição dos fatores com mesmo peso, sendo a obtenção deste dividindo-se 1 pelo número total de fatores. Este cenário é relevante exatamente devido a sua “neutralidade” multicriterial, uma vez que nenhum dos fatores apresenta-se mais importante que os demais (TREVISAN, *et al.*, 2010).

Desse modo, o termo “integrado” da expressão avaliação ambiental integrada constitui-se na inter-relação dos diferentes meios, físico, biótico e antrópico e à interação entre as diferentes variáveis por aspecto temático, que caracterizam as fragilidades ambientais, destes meios, determinando locais de menor fragilidade para expansão urbana.

2.4 Alterações e Influências da Urbanização sobre o Ambiente Natural

Com a retirada da vegetação natural inicia o processo de transformação da primeira em segunda natureza e se estabelece o rompimento do equilíbrio natural do ambiente. Desse modo, iniciam-se as relações processuais morfodinâmicas, nas quais os solos são castigados pela incidência dos raios solares permanecendo sob os efeitos fluvio-erosivos, além da exposição ao aumento da velocidade dos ventos, do escoamento superficial e da conseqüente redução da infiltração.

Para Mota (1997), a intensa alteração do ambiente natural associado aos centros urbanos é capaz de promover a diminuição do número total de indivíduos e da diversidade da flora e fauna local, através de fatores básicos, como o afugentamento e extinção de animais silvestres pouco adaptados ao meio urbano. Resultando destas ações que as espécies mais adaptáveis ao novo ecossistema apresentam dominância. Em alguns casos, há introdução de espécies exóticas da fauna. Com a diminuição da área coberta por vegetação original, introduzem-se espécies exóticas da flora que alteram definitivamente as características naturais do ecossistema natural.

O ser humano cria e recria seu espaço sem pensar no conjunto das transformações e nas conseqüências que impõe ao ambiente. As cidades se formam e a população cresce e se concentra em pequenos espaços provocando alterações ambientais significativas, muitas delas nefastas e definitivamente sem retorno ao estado anterior.

Com a aceleração do desenvolvimento urbano, na segunda metade do século XX, a população se concentra em espaços cada vez menores aumentando o impacto sobre os ecossistemas aquático e terrestre, e, sobretudo a si próprio. Resultam inundações mais freqüentes, doenças e diminuição da qualidade de vida. Este processo é decorrente da ausência de planejamento e controle no espaço urbano produzindo efeitos diversos sobre de água, tanto no abastecimento, águas pluviais (drenagem urbana e inundações ribeirinhas), quanto ao esgotamento sanitário e de resíduos sólidos.

A urbanização é espontânea e o planejamento praticamente é realizado para atender à cidade formal. Sem o devido planejamento do espaço, a ocupação ocorre sobre áreas de risco de inundação e áreas sujeitas aos movimentos de massa, caracterizando os principais problemas da sociedade informal.

Os principais problemas do meio urbano estão vinculados a cidade informal e relacionados à infra-estrutura de água. A ocupação irregular do espaço urbano, além de ser um risco à população vem acompanhada de sérios problemas socioeconômicos que

intensificam a problemática ambiental. Entre os problemas relacionados à infra-estrutura no meio urbano Tucci (1995) destaca: a ausência ou a inexistência de tratamento de esgoto; a ausência de drenagem urbana; a ocupação dos leitos a ribeirinha; a impermeabilização e canalização dos rios urbanos; a deterioração da qualidade da água e além desses; a carência de uma gestão organizacional que integre o solo e sua infra-estrutura.

No passado, os impactos sobre as bacias hidrográficas urbanas eram menores devido ao baixo volume de esgoto despejado nos rios e a natureza se encarregava de realizar a autodepuração. Com o aumento da urbanização e o uso de produtos químicos, nas indústrias e na agricultura, bem como, no contexto geral do ambiente, a água utilizada retorna aos rios contaminada. Esta ação repercute na poluição dos ecossistemas aquáticos superficiais e subterrâneos.

Os sistemas, aquático e terrestre estão interligados e não podem ser vistos de forma isolada. Para tanto, a bacia hidrográfica é adotada como unidade de planejamento. A tendência atual na gestão dos recursos hídricos envolve o desenvolvimento sustentado de bacias hidrográficas, que busca o aproveitamento racional dos recursos, com o mínimo dano ao ambiente (REIS, 2006). Pois, entende-se que a noção de planejamento e gestão de recursos hídricos por bacia hidrográfica urbana vai além do desenvolvimento dos recursos hídricos.

A questão central, no que concerne aos desafios da sustentabilidade, refere-se aos problemas sócio-político-institucionais de articulação de interesses e, não especificamente, do desenvolvimento ou subdesenvolvimento de tecnologias para o saneamento ambiental e a substituição de fontes.

Os maiores desafios contemporâneos dizem respeito à ausência de integração entre os diversos usuários e o processo de construção e legitimação política dos mecanismos institucionais de articulação e negociação social. A partir deste pressuposto, um plano de gerenciamento das águas de uma bacia hidrográfica deve resultar no manejo adequado, não só dos recursos hídricos, mas de todos os seus recursos naturais, de modo a proporcionar desenvolvimento social e econômico da área e garantir utilização de seus recursos, tanto para os dias atuais quanto para o futuro. Qualquer plano de gerenciamento da bacia deve conter diretrizes visando à proteção dos seus recursos naturais, os quais devem integrar o plano de conservação ambiental da bacia hidrográfica (CAMPOS e STUDART, 2003).

Avançando sobre o problema da ausência de integração entre usos e usuário das águas é necessário partir da premissa de que a água tem uma característica muito específica no contexto social, diferentemente dos outros recursos naturais. Portanto, a avaliação ambiental,

proposta deste estudo, vem ao encontro das concepções dos autores, cujas temáticas permitem uma visão holística e integrada entre os ecossistemas aquático e terrestre.

Avançando mais sobre a avaliação ambiental integrada, esta pode ser entendida como um estudo que envolve toda bacia hidrográfica, em busca de um sistema sustentável em ambiente urbano, considerando o menor impacto ambiental, o menor comprometimento da flora e fauna, por meio da interação dos meios físico, biótico e antrópico determinando áreas de fragilidade ambiental.

Em nível de bacia, a avaliação ambiental integrada, também pode ser entendida como a avaliação dos impactos a partir de um conjunto de ações que interagem na bacia e no seu espaço. A análise de todos os elementos de forma integrada, ou mesmo, as inter-relações dos seus elementos, solo, vegetação, clima, relevo, água e seres humanos, que refletem de forma positiva ou negativa na bacia hidrográfica.

É importante caracterizar que o desenvolvimento urbano sustentável requer a minimização do impacto negativo e da alteração do meio ambiente natural (clima, solo, ar, água, biota, etc). Todavia, a ocupação tradicional não compreende como solo, água e plantas estão integradas na natureza para buscar mitigar seus efeitos adversos da inserção de superfícies impermeáveis como telhados, passeios, ruas e outros. Com a destruição da drenagem natural, o novo sistema formado por ruas, bueiros, condutos e canais se tornam verdadeiros aceleradores do escoamento por aumentarem, em várias vezes, as vazões máximas (TUCCI, 2007). Além de lavar as superfícies, eles também transportam o poluente gerado pelas emissões de carros, caminhões ônibus, indústrias e hospitais.

Dozena (2001) ressalta que a ocupação e o uso do solo estão diretamente associados com a qualidade de vida e a qualidade ambiental nas cidades. Pois, estas relações são complexas nas cidades e originam uma diferenciação espacial que intensifica os conflitos sociais. Deste modo, um estudo que tem como princípio à análise ambiental, através de indicadores baseados em multicritérios, envolvendo aspectos integradores do ecossistema aquático e terrestre, deve ser desenvolvido e analisado com profundidade. Isto, pela complexidade e inter-relação que existe entre os elementos que compõe o sistema ambiental. Assim, buscar-se-á um sistema urbano mais sustentável.

2.5 Desenvolvimento e Impactos da Urbanização

Nos últimos anos, o processo de urbanização vem acompanhado por profundas alterações no uso e ocupação do solo, que resultam em impactos ambientais nas bacias hidrográficas. As transformações sofridas pelas bacias em fase de urbanização podem ocorrer muito rapidamente, gerando transformações na qualidade da água, na frequência de inundações e no transporte de sólidos. O crescimento urbano deve estar acompanhado da infra-estrutura necessária, no caso de ela ser deficitária, as desigualdades sócio-espaciais são geradas ou acentuadas.

Um diagnóstico realizado pela Agenda 21 no Brasil, esclarece as diversas demandas e problemas enfrentados pelas cidades Brasileiras (BEZERRA e FERNANDEZ, 2000). Pode-se ressaltar, a partir do documento da Agenda 21, que a consolidação da rede de cidades brasileiras ocorreu sem o devido planejamento e se apresenta com padrões atrasados de gestão. Assim, as cidades brasileiras cresceram desordenadamente; apresentando carência de recursos e serviços públicos; sua rede de infra-estrutura se encontra obsoleta, bem como os espaços urbanos. Existem sérias agressões ao meio ambiente, além da necessidade de mudança no processo decisório integrando variáveis ambientais, como sociais, de desenvolvimento econômico, assim como as de qualidade do ambiente urbano e o fortalecimento das estruturas institucionais, além da melhoria de mecanismos que facilitem a participação do povo no processo decisório (Figura 2.1).

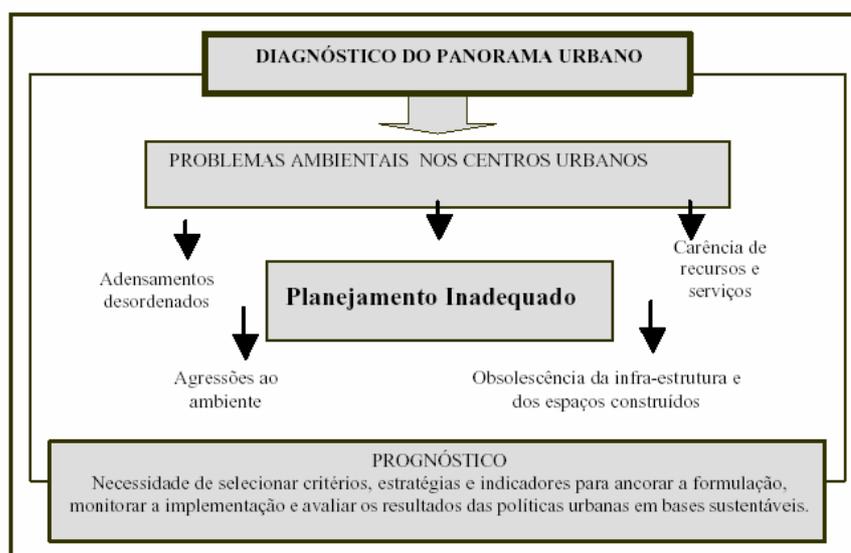


Figura 2.1 - Diagnóstico do panorama urbano brasileiro
 Fonte: Rossetto (2003).

Os principais impactos que resultam da urbanização e repercutem diretamente na rede de drenagem são: elevação das vazões máximas devido ao aumento da capacidade de

escoamento por meio de condutos e canais e impermeabilização das superfícies; aumento da produção de sedimentos devido à falta de proteção das superfícies e a produção de resíduos sólidos; deterioração da qualidade da água, em decorrência da lavagem das ruas, transporte de material sólido e as ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial (TUCCI e COLLISCHONN, 1998).

Para Drew (1997), todos os aspectos do ambiente são alterados pela urbanização, incluindo o relevo, o uso da terra, a vegetação, a fauna, a hidrologia e o clima. Regra geral, a intensidade da mudança está ligada à densidade da área edificada e à expansão da ocupação.

O Brasil apresenta 86% da população em áreas urbanas. Nos estados mais desenvolvidos, esses números chegam próximos a 90%. Devido a essa grande concentração urbana, vários conflitos e problemas têm sido gerados neste ambiente, tais como: (a) degradação ambiental dos mananciais; (b) aumento do risco das áreas de abastecimento com a poluição orgânica e química; (c) contaminação dos rios por esgotos doméstico, industrial e pluvial; (d) enchente urbana gerada pela inadequada ocupação do espaço e pelo gerenciamento inadequado da drenagem urbana; (e) falta de coleta e disposição do lixo urbano (TUCCI e BERTONI, 2003). Desta forma, apresentam condições críticas de sustentabilidade. Valendo-se, mais uma vez, das idéias deste autor, estes conflitos e problemas ocorrem, entre outros fatores, devido à dificuldade, que os municípios, principalmente no Brasil, enfrentam no gerenciamento e na percepção integrada de seu ambiente natural, até mesmo social e de produção.

Entre os diversos problemas ambientais existentes, o dos resíduos sólidos urbanos tem-se tornado um dos maiores desafios da atualidade. Com o crescimento acelerado da população, houve incremento na produção de bens e serviços. Estes, por sua vez, à medida que são produzidos e consumidos, acarretam uma geração cada vez maior de resíduos, os quais, coletados ou dispostos inadequadamente, trazem significativos impactos à saúde pública e ao meio ambiente. É possível notar a queda na diversidade não apenas das espécies consideradas sensíveis, mas também, de espécies resistentes devido aos crescentes índices de impermeabilização das áreas de drenagem. Similarmente, Booth *et al.*, (2001) observou, dos rios urbanos estudados, que a maioria deles apresenta comprometimento das funções de habitat para as comunidades aquáticas quando a superfície impermeável excede 8 a 12% da área total da drenagem.

As principais alterações provocadas pela urbanização, segundo relações diretas de causa e efeito, são apresentadas por Hall (1984); Porto *et al.*, (1997) e Bollmann, (2003). A Figura 2.2, extraída de Bollman (op.cit.) apresenta esses efeitos.

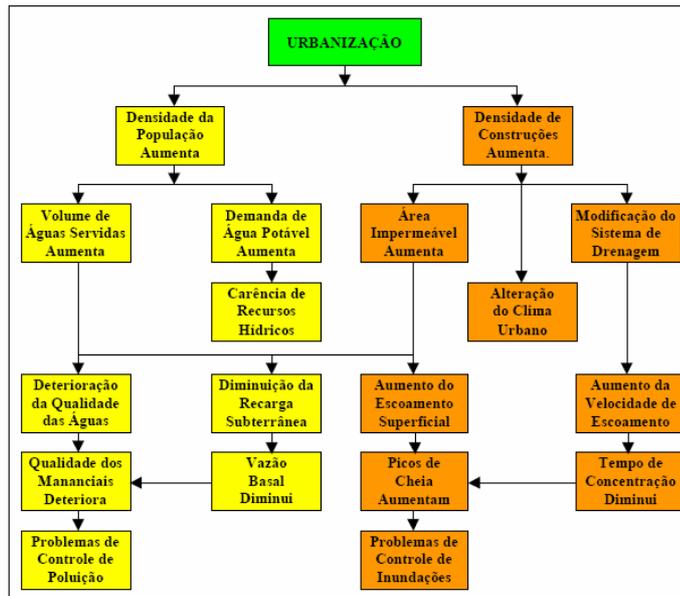


Figura 2.2 – Principais Alterações Provocadas pela Urbanização na Rede de Drenagem
 Fonte: Bollmann (2003).

Para tanto, Porto (1995) associa urbanização à poluição dos corpos de água. Este fato ocorre devido ao lançamento de esgotos domésticos e dejetos industriais que são parcialmente ou não tratados. Mais recentemente observou-se que parte da poluição gerada em áreas urbanas é oriunda do escoamento superficial das águas pluviais sobre áreas impermeáveis. Além dos sedimentos carregados pelas enxurradas somam-se os poluentes como: a matéria orgânica, microorganismos, metais pesados, hidrocarbonetos provenientes de petróleo, produtos tóxicos como pesticidas e poluentes do ar (BOLLMANN e MARQUES (2000)). Estes poluentes ao se transferirem a drenagem urbana podem provocar conseqüências inclusive como intensificar as inundações.

Desse modo, a chuva se apresenta como o elemento deflagrador dos acidentes relacionados às inundações. Porém, a ocupação inadequada de áreas sujeitas a alagamentos coloca a população frente aos eventos. No entanto, a população é o principal componente desta vulnerabilidade, que, por sua vez, resulta da ausência, deficiência ou inadequação dos processos políticos, econômicos e culturais.

Tradicionalmente, o gerenciamento de riscos associados às inundações leva à realização de medidas estruturais, tais como canalização e retificação dos corpos d'água. Apesar dos altos custos financeiros e tempo envolvidos em ações como estas, via de regra, elas se mostram defasadas e insuficientes para solucionar os problemas relacionados e, não raro, provocam sua intensificação.

Em decorrência disso, as medidas não-estruturais são usadas como procedimento complementar no gerenciamento de riscos às inundações. Estas medidas podem significar mudanças importantes no sistema de gestão de políticas públicas, unindo diferentes setores da sociedade por meio de parcerias que integram a população, o poder público, a iniciativa privada e os institutos de pesquisa, no objetivo de encontrar soluções mais efetivas (TUCCI, 2007).

2.6 Gestão Integrada de Águas Urbanas em Bacia Hidrográfica.

A gestão das águas e do meio associado, os solos, está fortemente relacionado à evolução e ao planejamento do meio urbano. Nas últimas décadas, o paradigma ambiental ampliou o conceito de abastecimento d'água integrado aos efeitos das intervenções e das ações de gestão nos ecossistemas e na defesa de aspectos especiais da natureza, ou seja, aumentou a preocupação e a importância da prevenção contra a poluição, dando-se destaque para a qualidade ecológica, como um dos parâmetros enfatizados no planejamento da gestão do uso das águas (CUNHA e FERREIRA, 2005).

A gestão pública de cada cidade tem o dever de regulamentar a ocupação do solo, a integração da infra-estrutura e a conservação do ambiente urbano. Os principais componentes da estrutura da gestão da cidade, conforme Tucci, (2007), envolvem: o planejamento e gestão do uso do solo; a infra-estrutura viária, água, energia, comunicação e transporte e a gestão sócio ambiental.

O planejamento e gestão do uso do solo: trata da definição, por meio do Plano Diretor Urbano, de como a cidade está prevista para ser ocupada, bem como suas correlações quanto aos cenários do presente e do passado de uma cidade. Enquanto que a infra-estrutura viária, água, energia, comunicação e transporte considera o planejamento e gestão destes componentes da infra-estrutura que podem ser atribuição tanto de implantação pública ou privada, mas devendo estar regulamentados pelo município. A gestão sócio-ambiental engloba a avaliação e aprovação de projetos, monitoramento, fiscalização e pesquisa para o desenvolvimento urbano seja sócio-ambiental sustentável. Desse modo, a gestão urbana trata do planejamento do uso do solo, da infra-estrutura e, sobretudo do controle ambiental (TUCCI, 2007. p.30). Para demonstração da relação entre os sistemas de águas urbanas segue Figura 2.3.

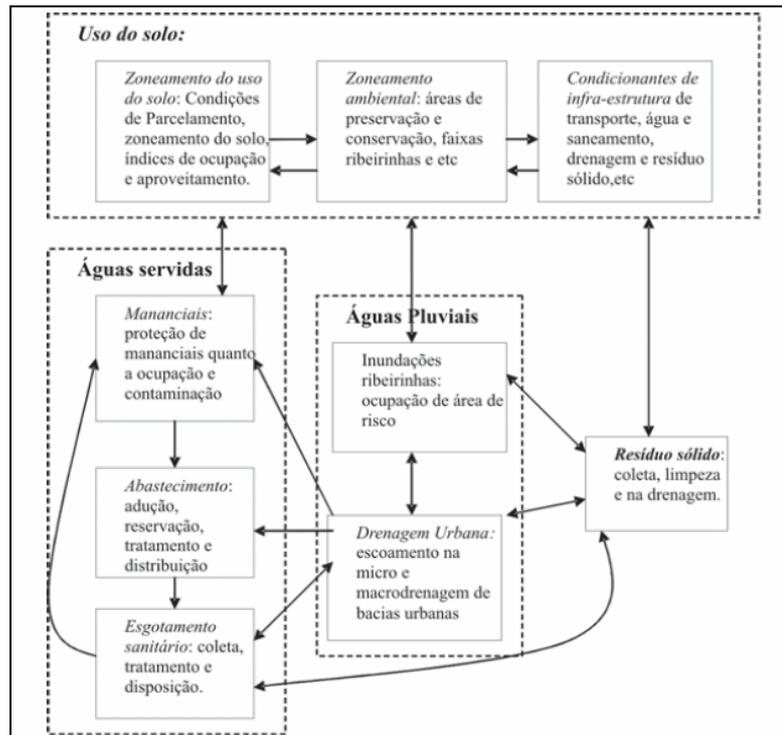


Figura 2.3 - Relações entre os Sistemas das Águas Urbanas
 Fonte: Tucci (2007).

Desse modo, uma gestão adequada dos sistemas urbanos de abastecimento e esgotamento pode reduzir uma série de impactos negativos, além de trazer resultados positivos para o ambiente, a sociedade e a economia. O conceito de sustentabilidade procura incorporar estas preocupações. Contudo, para que ele possa ser efetivamente aplicado, é preciso uma mudança na percepção dos referidos sistemas, acompanhada pela adoção de instrumentos de monitoramento.

Todas as dimensões devem ser abordadas de forma integrada, a partir de princípios de sustentabilidade, que, portanto, precisam ser claramente estabelecidos (TEIXEIRA e SILVA, 1998). Por outro lado, para que estes princípios possam se traduzir em políticas e ações concretas, é preciso que hajam instrumentos de gestão que tornem possíveis a detecção das tendências apresentadas pelos diferentes componentes dos sistemas urbanos, entre eles, os de abastecimento de água e de esgotamento sanitário. Assim, surge a necessidade de se estabelecerem indicadores de sustentabilidade, capazes de darem suporte às políticas públicas na condução de sistemas mais sustentáveis (TUCCI, 2007; SUSTAINABLE SEATTLE, 1998).

O principal desafio é buscar soluções integradas e economicamente sustentáveis. O desenvolvimento tecnológico deve buscar a visão integrada para proteção de mananciais; racionalização do uso da água, com programas de redução de consumo; reuso da água,

equipamentos de menor consumo; sistemas eficientes de tratamento de água, adequados à realidade local; sistemas de controle da poluição que melhorem a qualidade da água; controle das inundações e priorizar o planejamento urbano que conserve o ambiente e controle a disposição dos resíduos sólidos. Desse modo, para buscar uma solução ambientalmente sustentável para novos empreendimentos, Tucci (2007) alerta sobre a necessidade do gerenciamento integrado da infra-estrutura urbana, iniciando suas reflexões pela definição da ocupação do espaço com preservação das funções naturais, como a infiltração e a rede natural de escoamento.

Um dos maiores problemas que o setor de recursos hídricos enfrenta na atualidade é a redução da disponibilidade hídrica devido à degradação da qualidade da água dos rios, lagos e aquíferos. Durante algum tempo, o controle da qualidade da água era visto apenas de forma setorial, intervindo, prioritariamente, no efluente da indústria e nos efluentes domésticos, geralmente sem tratamento. O planejamento das áreas urbanas envolve principalmente: o desenvolvimento urbano quanto ao transporte; o abastecimento de água e saneamento; a drenagem urbana e o controle de inundações; resíduo sólido e controle ambiental. Portanto, o planejamento urbano pode considerar aspectos relacionados com a água, uso do solo e definição das tendências dos vetores de expansão da cidade, para indicação de fragilidades ambientais.

A experiência americana tem sido aplicada através de um programa nacional, desenvolvido pela EPA (Environmental Protection Agency), que obriga todas as cidades com mais de 100 mil habitantes a estabelecer um programa de BMP (Best Management Practices). A segunda fase do programa iniciou para cidades com população inferior à mencionada (ROESNER e TRAINA, 1994). As BMPs englobam o controle da qualidade e quantidade através de medidas estruturais e não-estruturais por parte do município. O município tem o dever de demonstrar que está avançando e que busca atingir estes objetivos por meio de um Plano. Este processo contribui para reduzir a poluição difusa dos rios das cidades vizinhanças. A penalidade, a ser imposta, pode ser a ação judicial da EPA contra o município.

Para tanto, Maksimovic (2001), enfatiza que os sistemas integrados de drenagem urbana têm, como papel, que cuidar do melhoramento da qualidade de vida pela produção de feições aquáticas, criando amenidades urbanas na cidade, providenciando cobertura urbana de proteção contra inundações. Em outras palavras, também pode ser considerado como ação sob a perspectiva de sustentabilidade ambiental, introduzindo uma nova forma de direcionamento das ações, baseada no reconhecimento da complexidade das relações entre os ecossistemas naturais, o sistema urbano artificial e a sociedade. Para tanto, a integração de variáveis

indicadoras dos meios físico, biótico e antrópico procura determinar áreas de menor fragilidade ambiental à expansão urbana, em busca de um sistema mais sustentável.

2.7 Variáveis indicadoras para análise integrada em bacia hidrográfica urbana.

Os indicadores são *inputs* nos processos de formulação de política ambiental e permitem resumir uma grande quantidade de dados para facilitar a comunicação das situações ambientais em diferentes grupos sociais (SEGNESTAM, 2002).

A construção de sistemas de indicadores, segundo Will e Briggs (1995), é um meio eficaz de prover as políticas com informações capazes de demonstrar seu desempenho ao longo do tempo e de realizar previsões, podendo ser utilizados na promoção de políticas específicas e monitoramento de variáveis espaciais e temporais para as ações públicas.

Os indicadores sociais descrevem atributos de uma sociedade ou de seus indivíduos (crescimento populacional). Os indicadores econômicos descrevem atributos da economia destacando a contribuição de cada setor da produção econômica. Desta forma, os fatores econômicos, sociais e ambientais são interdependentes, contudo é o ambiente que fornece a base do desenvolvimento econômico e social. Os processos econômicos e sociais são moldados pelo meio ambiente e os desejos e necessidades da sociedade definem qualitativa e quantitativamente a utilização dos recursos naturais. Assim, indicadores socioeconômicos podem revelar futuras demandas e pressões sobre o meio ambiente urbano.

No Brasil, grande parte destes indicadores é obtida sistematicamente, a nível municipal, pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Gasteyer e Flora (1999) apresentam uma vasta revisão bibliográfica de indicadores sociais, com objetivo de ajudar a identificar indicadores que possam ser úteis para comunidades, agências governamentais e outras iniciativas para conservação e proteção de bacias hidrográficas e qualidade das águas.

Azar *et al.*, (1996) apresentam uma metodologia para análise de indicadores de sustentabilidade, focando para a construção de indicadores socioecológicos que possam revelar sinais de exploração não sustentável de recursos naturais. Van Dijk (1997) aponta a necessidade de indicadores sociais em modelos de análise econômica e planejamento. Cobb e Rixford (1998) relatam uma revisão histórica do desenvolvimento de indicadores sociais nos últimos dois séculos. Hoff *et al.*, (1998), através de uma compilação de artigos, demonstram que o bem estar social é impactado pelo meio ambiente e que componentes ambientais devem ser incluídos nos indicadores de qualidade de vida.

Hezri *et al.*, (2006) discutem sobre a utilidade dos indicadores relativos à sustentabilidade para o planejamento e da forma que podem influenciar nas ações governamentais.

Dessas leituras, pode-se considerar que a qualidade de vida da população está relacionada à qualidade das águas urbanas. Um dos indicadores de qualidade da vida é a saúde da população, para tanto, Borja e Moraes (2002a) mostram indicadores que podem ser utilizados para relacionar a saúde ambiental de uma população com os serviços de saneamento. Teixeira e Guilhermino (2006) apresentam a relação entre condições de saneamento (cobertura populacional por redes de abastecimento de água, por sistemas de esgotamento sanitário e por serviços de coleta de lixo) com os indicadores epidemiológicos analisados através da taxa de mortalidade infantil, mortalidade proporcional por doença diarréica aguda em menores de cinco anos de idade e mortalidade proporcional por doenças infecciosas e parasitárias para todas as idades nos estados brasileiros.

Dietz *et al.*, (2004) descrevem como o comportamento individual dos cidadãos pode ser determinante na efetividade de BMP's (Best Management Practices) visando a diminuição da poluição difusa no meio urbano. Os autores monitoraram duas micro-bacias onde, em uma delas, foram aplicadas medidas educativas à população e concluíram que os esforços em educação podem potencializar a implementação das BMP's e promover melhorias na qualidade d'água.

Vários autores vêm desenvolvendo métodos para analisar a estrutura de ecossistemas aquáticos urbanos, como Allan *et al.*, (1997), Booth e Jackson (1997), Hart e Kinelli (1999), Hession *et al.*, (2000), Booth *et al.*, (2001), Snyder *et al.*, (2003) e Allan (2004). Entre os principais efeitos observados nos ecossistemas aquáticos, constatam-se: (1) a diminuição da diversidade de espécies e modificação da biota dominante, (2) aumento da biomassa de plantas e animais e (3) aumento da turbidez.

Os indicadores ecológicos podem ser definidos como parâmetros biológicos, baseados em populações, conjunto de populações ou propriedades sistêmicas, que, por suas características qualitativas e/ou quantitativas, retratam o estado de um sistema ecológico, permitindo detectar e monitorar eventuais mudanças nesse sistema ao longo do tempo (BLANDIN *et al.*, 1986; DALE e BEYELER, 2001). O grande desafio é desenvolver indicadores que caracterizem efetivamente o estado de um determinado sistema ecológico e sejam simples o suficiente para serem medidos e interpretados sem dificuldade pelos tomadores de decisões (DALE e BEYELER, 2001).

O desenvolvimento de indicadores é utilizado para representar dados qualitativos ou índices quantitativos, que descrevam sobre aspectos bióticos, abióticos ou antrópicos do ambiente. Os principais índices biológicos referentes à qualidade da água são: (1) Index of Biological Integrity (IBI), (2) Macroinvertebrate Biological Index (MBI), (3) Habitat Based Predicted Index of Biological Integrity (PIBI), (4) Physical Habitat Index (PHI), e, (5) Trophic State Index (TSI). O IBI utiliza características de comunidades de peixes para avaliar a integridade biológica de rios, através da comparação com as condições encontradas de referência segundo Karr (1981) e Karr (1998). O índice constitui-se na principal medição e classificação de rios do BSC (Biological Stream Characterization, USEPA, 2007), variando de 12 a 60, em uma hierarquização de 5 classes, que variam de (A), classe com excelente qualidade de água, considerado sem interferência humana, até (E), classe com extremas restrições de uso devido a poluição e de ecossistemas aquáticos desestabilizados.

Para determinar a magnitude do desenvolvimento urbano e socioeconômico utilizam-se índices como o TIA (Total Impervious Área) e o EIA (Effective Impervious Área) e o Coeficiente da Deficiência de Atendimento, Booth *et al.*, (2001), Hill *et al.*, (2003), Booth e Jackson (1997), Schueler e Herson-Jones (1995) e Garcia (2003) apresentaram definições teóricas para esses índices. Hill *et al.*, (2003), baseado em estudos de Dinicola (1989), apresentam dados para os dois índices (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 – Relações entre densidade urbana e índices de impermeabilidade do uso do solo

Uso do Solo Urbano	TIA (%)	EIA (%)
Baixa densidade residencial	10	4
Média densidade residencial	20	10
Densidade Suburbana	35	24
Alta densidade residencial	60	48
Comercial e Industrial	90	86

Fonte: Hill *et al.*, 2003.

OBS: TIA: Área Impermeável Total; EIA: Área Impermeável Efetiva.

O índice TIA trata de uma abordagem intuitiva para o processo de impermeabilização do solo urbano, representando a fração da bacia coberta por áreas construídas e asfaltadas. Hidrologicamente, esta definição apresenta-se incompleta por dois motivos: (1) o índice ignora superfícies suficientemente compactadas em que a permeabilidade é bastante baixa, gerando escoamento superficial significativo; (2) o índice incorpora algumas superfícies urbanas não-pavimentadas, como áreas verdes, ou pouco pavimentadas que apresentam boa permeabilidade. O índice EIA pode ser definido como as superfícies impermeabilizadas com

conexão hidráulica direta com a rede de drenagem. Esse índice captura a significância hidrológica de áreas impermeabilizadas, sendo este parâmetro utilizado para caracterizar as áreas urbanas em modelos hidrológicos.

Garcia (2003) analisa indicadores sociais e econômicos, através do método denominado Coeficiente de Deficiência de Atendimento. O índice baseia seu desempenho na relação entre o valor total acumulado não atendido em relação ao total acumulado do ideal que deveria ser atendido. A construção do método baseia-se na construção da curva de equiatendimento (Figura 2.4).

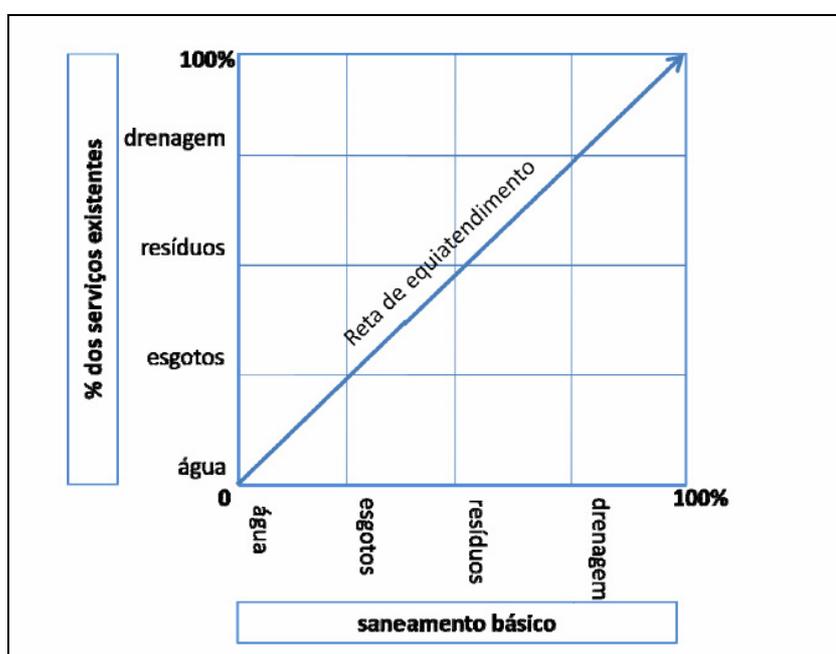


Figura 2.4 - A reta de equiatendimento na construção do coeficiente de deficiência de atendimento

Neste método, foram considerados indicadores de saneamento básico: drenagem urbana, resíduos, esgoto e água. Foi atribuído o mesmo nível de importância para cada um, correspondendo a um peso de 25%. A reta de equiatendimento é demarcada a partir das estruturas de repartição que representam uma situação teórica em que os serviços de saneamento seriam atendidos de forma igual (GARCIA, 2003).

Ultimamente, os indicadores vêm sendo utilizados de forma conjunta, agregando uma série de informações, buscando uma visão integrada do objeto de estudo. Os indicadores devem propor dados de forma a possibilitar análises e avaliações da transformação do meio

físico e social, buscando a elaboração e formulação de políticas e ações urbanas (ESCOBAR, 2006).

Os indicadores podem trazer informações essenciais ao desenvolvimento urbano, desde que atendam aos objetivos do planejamento e gestão, e que sejam utilizados para dimensionar e direcionar ações para objetivos pré-estabelecidos. O desenvolvimento sustentável está alicerçado na equidade econômica, justiça social e no equilíbrio ecológico, que devem ser determinados de forma integrada e homogênea, permitindo que os indicadores sejam capazes de apontar as fragilidades ambientais.

A avaliação ambiental integrada (AAI) abordada por Tucci e Mendes (2006) metodologicamente contempla indicadores socioeconômicos, do meio físico e ecossistemas terrestre e aquático na bacia do Rio Uruguai, visando fontes sinérgicas e cumulativas no setor hidrelétrico, atendendo a visão integradora.

Como o ambiente funciona de forma integrada, a utilização de indicadores não podem ser de forma linear, uma vez que, ao determinar um fenômeno social, informações econômicas e ambientais são necessárias (GARCIA, 2003). O autor demonstra a necessidade de formular indicadores de serviços de infra-estrutura urbana de saneamento que coloca a interface entre estes e os indicadores urbanos, regionais e nacionais de habitação.

Portanto, todas as variáveis abordadas neste item podem ser analisadas em ambiente urbano ou, mesmo, em bacias hidrográficas urbanas. Porém, as principais e as mais significativas referem-se às variáveis integrantes dos aspectos temáticos: risco de inundação, fragilidade a erosão, estabilidade de encosta, geologia/morfologia, contaminação das águas superficiais e subterrâneas, por serem as que propiciam ou potencializam a ocorrência de eventos ou desastres ambientais e ocasionam tragédias em grandes proporções ao atingirem o ambiente urbano. Além disso, geralmente ocorre intenso uso e ocupação do solo por habitações, concentrando populações em pequenos espaços que também devem ser analisados ao se referir ao meio antrópico. Convém ressaltar que as variáveis do meio físico são as mais expressivas e que sofrem diretamente os efeitos antrópicos tornando o ambiente mais vulnerável e susceptível aos desastres naturais pela falta de planejamento no uso e ocupação do solo urbano.

2.8 Vulnerabilidade e cenários ambientais.

Pode-se constatar que houve aumento da vulnerabilidade da população frente aos episódios de alagamento nas cidades brasileiras. Este fato se deve, em grande parte, à ocupação de áreas de risco. A vulnerabilidade ou fragilidade ambiental está relacionada com a susceptibilidade de uma área em sofrer danos quando submetida a uma determinada ação. Quanto maior a vulnerabilidade da bacia, menor a chance de recuperação do ambiente. Conhecer a vulnerabilidade de uma área a determinados fatores de pressão ambiental auxilia na priorização de investimentos públicos, normalmente escassos, em diferentes regiões.

Segundo o Painel Intergovernamental de Mudança Climática (IPCC), a vulnerabilidade de uma determinada região está relacionada à natureza dos fatores que pressionam ou promovem mudanças ambientais, ao grau de sensibilidade do meio à mudança e a sua capacidade regenerativa (METZGER *et al.*, 2006).

Döll *et al.*, (2000), frente a esta vulnerabilidade, destacam a importância da valoração ambiental de cenários para o planejamento. Além disso, a criação de cenários nos permite avaliar, estudar e comparar diferentes situações hipotéticas. Partindo deste pressuposto, os cenários alcançam significativa importância na tomada de decisões para evitar erros e danos ao meio ambiente, os quais muitas vezes são irreversíveis.

Franco (2002) conceitua cenário ambiental como a projeção de uma situação futura para o meio ambiente, tendo em vista a solução de um problema ou a melhora de uma condição presente indesejável ou insatisfatória. A melhora de uma condição ambiental envolve aspectos socioculturais complexos e esta mudança implica naturalmente em conseqüências que envolverão toda uma comunidade e, antes de tudo, uma decisão política.

A combinação de cenários propõe grande quantidade de conhecimento quantitativo e qualitativo (OHNUMA JR, 2005). Assim, os mecanismos de ação ordenada que buscam equilibrar o desenvolvimento com as condições ambientais das cidades são os Planos Diretores de Drenagem Urbana (PDDU). A política de PDDUs usa critérios e princípios básicos de controle, de estratégias e de interfaces com outros planos, através de esgotos sanitários, resíduos sólidos e de desenvolvimento (TUCCI, 2002). Para tanto, a determinação dos cenários se apóia nos resultados da análise integrada das variáveis indicadoras.

3 METODOLOGIA

3.1 Estratégia metodológica

A proposta metodológica, realizada em escala de bacia, tem como alvo o ambiente urbano. Em base ao afirmado, no primeiro momento realizou-se o levantamento dos dados baseados na matriz teórica, contemplando material bibliográfico e informações sobre material cartográfico disponível para o estudo. Para tanto, foi necessário um conhecimento teórico-conceitual prévio para elencar e não desprezar informações que pudessem viabilizar o estudo e ao mesmo tempo fossem importantes para atingir os objetivos propostos. A partir desta abordagem conceitual foi elaborado o modelo conceitual buscando detalhar as informações executadas na metodologia (Figura 3.1).

Em segundo momento efetuou-se o início da avaliação, seleção e mapeamento das variáveis indicadoras dos meios físico, biótico e antrópico compatíveis com a escala de mapeamento. Este mapeamento consiste na hierarquização das áreas de menor à maior fragilidade ambiental para expansão urbana e licenciamentos ambientais, atribuindo valor de 0 a 255 bytes por variável, que resultaram em mapas síntese por aspecto temático e por bloco temático. Esta fase foi executada no programa computacional ArcGIS 9.3, licença concedida à UFSM pela empresa americana ESRI – (Environmental Systems Research Institute).

No terceiro momento realizou-se a análise multicritério. Nesta fase, cada aspecto temático recebeu um peso conforme o grau de importância da variável. A soma de todos os pesos deve ser igual a 1. A partir deste momento foram estabelecidos três cenários para tomada de decisão com base na análise de multicritério.

No quarto momento realizou-se a identificação dos índices de maior e menor fragilidade ambiental do mapeamento temático, para posteriormente, validá-los ou rejeitá-los, ou seja, conferiu-se se as áreas de maior e menor fragilidade ambiental dos mapeamentos com a realidade a campo. Para validar o modelo, utilizaram-se dados para toda bacia hidrográfica referentes às variáveis indicadoras da qualidade da água, confrontando dados medidos a campo com os estimados.

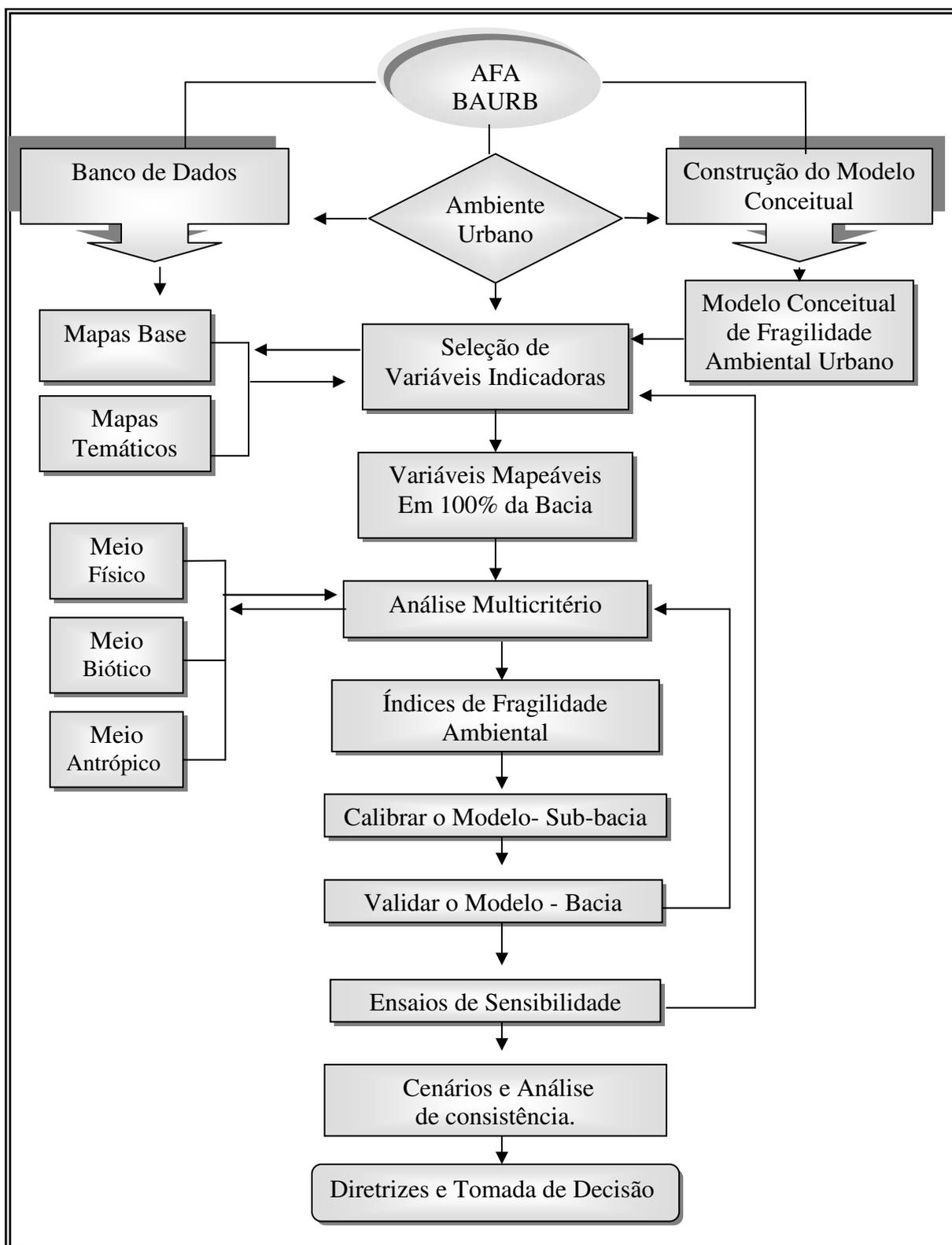


Figura 3.1 – Fluxograma da metodologia de análise de fragilidade ambiental (AFA) em bacia hidrográfica urbana (BAURB).

O quinto momento destinou-se a análise de sensibilidade realizada para os aspectos temáticos que tiveram três ou mais variáveis para compor o Bloco temático objetivando o aperfeiçoamento do modelo. Posteriormente, realizou-se a calibragem do modelo otimizando

as variáveis a partir de dados medidos a campo. Os dados confrontados referem-se à carga orgânica remanescente da população processada com base nos dados do IBGE (2000) por setor censitário e sub-bacias de contribuição dos pontos de coleta, bem como o carbono orgânico dissolvido medido a campo e processado em laboratório, também, por sub-bacia de contribuição.

O último momento constituiu-se na proposição de diretrizes para a tomada de decisão e apresentação de cenários visando uma expansão urbana e licenciamentos ambientais mais sustentáveis. Para aplicação da metodologia, realizou-se um estudo de caso na bacia hidrográfica do Arroio Capivara, em Porto Alegre – RS.

3.2 Bacia hidrográfica do arroio Capivara

A área de estudo se localiza na zona sul do município de Porto Alegre, RS, abrange uma área total de aproximadamente 12 Km², e o canal principal de aproximadamente 7,0 Km (Figura 3.2). A bacia hidrográfica delimita-se ao Norte pela bacia hidrográfica do Arroio Cavalhada, ao Oeste pelo lago Guaíba, no Sul pela bacia hidrográfica do Arroio Espírito Santo e no Sudeste e Leste pela bacia hidrográfica do Arroio Salso. Além disso, fazem parte da paisagem da bacia hidrográfica do Arroio Capivara os morros Tapera, Agudo, Pasmado e Belém Velho.

A bacia de estudo está em processo de urbanização e apresenta processos distintos de ocupação, até desaguar no Lago Guaíba. A porção leste da bacia caracteriza-se pela tímida urbanização, apresentando áreas verdes, canais ainda preservados pela vegetação e ausência de ocupação em suas margens e, a porção norte da bacia se destaca pela preservação natural, grande parte, em virtude da alta declividade, podendo ser caracterizada primeira natureza por não sofrer alteração da vegetação nativa. À medida que se aproxima da foz a urbanização vai se intensificando, inclusive nas margens dos cursos de água, tendo como principal problema a ausência da cobertura de rede coletora de esgotos, além do predomínio do processo de canalização. A urbanização mais intensa ocorre da porção central até a foz.

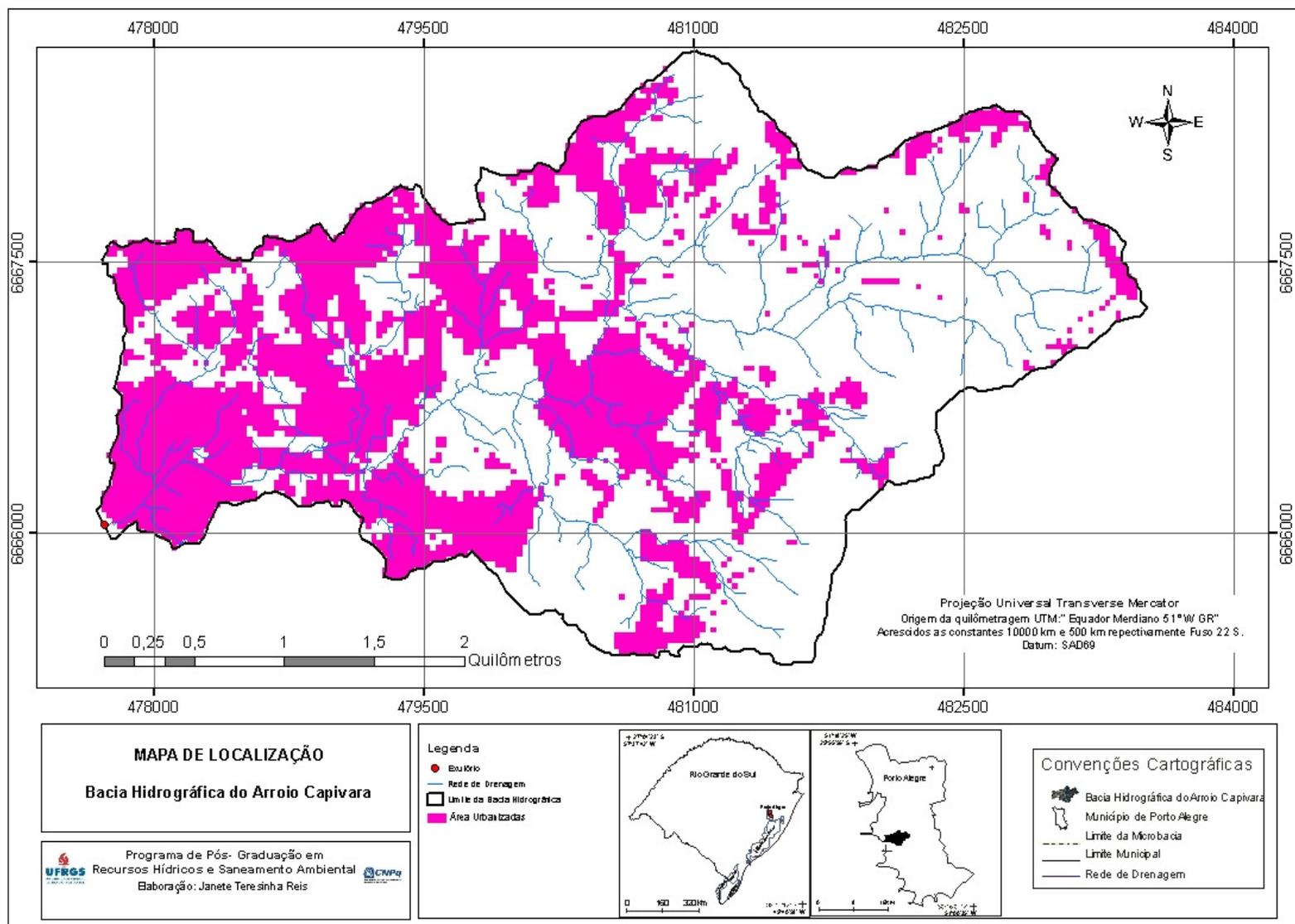


Figura 3.2 - Localização da bacia hidrográfica do arroio Capivara, em Porto Alegre – RS
 Fonte: REIS, 2010, Escala 1:25.000.

3.3 Procedimentos metodológicos

3.3.1 Desenvolvimento do modelo conceitual e critérios da seleção das variáveis

A avaliação integrada da bacia hidrográfica urbana se baseia na análise desagregada e integrada dos meios, físico, biótico e antrópico com uma abordagem metodológica capaz de hierarquizar os cursos de água por bacia de contribuição, sistematizar os resultados por setor censitário para toda a bacia, de modo a apontar áreas de maior a menor fragilidade ambiental para expansão urbana.

A análise desagregada: trata das particularidades de cada variável e bacia de contribuição auxiliando nas recomendações dos estudos ambientais.

A análise integrada: trata da modelagem e da hierarquização da bacia, cenários e das áreas para a expansão urbana.

A partir desta perspectiva, deve-se considerar a heterogeneidade da base de dados, as diferenças locais, regionais, bem como identificar variáveis que levam em consideração estas diversidades e que, ao mesmo tempo, sejam significativas na identificação de áreas menos frágeis relacionadas à expansão urbana.

Para selecionar as variáveis indicadoras, encontraram-se limitações quanto à escala de informações. A base cartográfica disponível nem sempre esteve de acordo com o que se desejou trabalhar, ou seja, 1:25.000. Desta forma, manteve-se a base na escala de 1:25.000, mas o detalhamento para algumas variáveis disponíveis foram na escala 1:50.000 ou por pixel 30 por 30 metros. Este fato indica que mapas temáticos de escala menor (ex. 1:50.000) apresentam menor detalhamento, e conseqüentemente maior grau de incerteza na informação.

As variáveis selecionadas atenderam alguns requisitos básicos como: Importância, Discriminação e a Consistência.

► *Quanto a importância*: caracteriza-se pela percepção com relação aos processos mais significativos que são representados pelos mapas-critérios, bem como sua hierarquia. Este quesito depende do embasamento teórico-metodológico em conhecer a área em estudo, bem como da ciência ambiental. Este fato está relacionado ao modelo conceitual do problema (MMA, 2009). Atende a perguntas como: quais variáveis são viáveis e quais são úteis para o trabalho. As variáveis selecionadas receberam o mesmo nível de importância, onde a soma dos pesos é igual a 1,0

► *A Discriminação*: este se refere ao poder que cada mapa-critério exerce para discriminar, hierarquizar os espaços. Depende da escala e qualidade dos dados que são

utilizados para elaborar os mapas critérios, assim como da intervariabilidade espacial dos valores. É identificado somente pelos ensaios de sensibilidade. Atende a algumas perguntas como: uma variável, mesmo sendo importante, é capaz de hierarquizar trechos da área modelada? Consegue discriminar áreas? Onde é melhor, onde é pior para a expansão urbana? No contexto geral, quanto maior a variabilidade espacial dos valores do indicador, maior sua utilidade para discriminação, onde é melhor ou pior (MMA, 2009).

► *A Consistência*: trata do ajuste entre produtos da análise multicritério e os medidos em campo, ou seja, que condizem com a realidade verificada em campo. Deve-se ter uma visão prévia da bacia e, após a análise multicritério, verificar a campo as dúvidas referentes à consistência dos mapas síntese, além de confrontar variáveis estimadas com variáveis medidas a campo e, assim, definir o grau de certeza ou incerteza, a partir da comparação das informações obtidas nos mapas síntese.

Ao término destes requisitos, a análise de fragilidades ambientais tornou-se um elemento primordial para a avaliação integrada. Para tanto, deve-se considerar outros aspectos importantes para o estudo, que são:

◆ *A Hierarquização das bacias de contribuição e ensaios de sensibilidade*: consistem em resultados que permitem orientar para a tomada de decisão.

◆ *A Identificação de áreas com maior fragilidade ambiental*: esta identificação não impede a expansão urbana, mas traz um alerta sobre os riscos que correm, em caso de ocupação, e demandam custos e riscos mais elevados.

◆ *A Identificação de áreas com menor fragilidade ambiental*: nestas áreas são encontradas as menores fragilidades, ou seja, áreas de baixa fragilidade, as mais favoráveis para a expansão urbana. Porém, esta viabilidade visa estudos mais detalhados, uma vez que a expansão urbana requer infra-estrutura adequada e saneamento básico para sua instalação. A avaliação integrada não dispensa os estudos ambientais, mas constitui-se no estudo que auxilia no planejamento ambiental urbano da bacia, permitindo orientar a tomada de decisões em várias situações de planejamento.

A partir deste entendimento, o desenvolvimento metodológico foi conduzido através da seleção das variáveis indicadoras disponíveis para a área de estudo como um todo, por meio de um zoneamento hierárquico baseado na análise multicritério, de maneira que seus atributos pudessem ser distribuídos de forma contínua na bacia hidrográfica e que permitissem fornecer informações significativas para a tomada de decisão, reduzindo as incertezas.

No desenvolvimento do modelo conceitual, os trabalhos desenvolvidos por Silveira e Cruz (2005); FEPAM (2004); Tucci e Mendes (2006) e principalmente o relatório FRAG-RIO (MMA, 2009) constituíram-se em referências importantes para o embasamento do modelo.

3.3.2 Modelagem

O modelo de fragilidade ambiental para a expansão urbana é um modelo espacialmente distribuído, a partir da elaboração de mapas base, mapas temáticos e classificados da maior a menor fragilidade ambiental. Este modelo visa realizar um zoneamento, levando em consideração os aspectos temáticos dos meios físico, biótico e antrópico da bacia hidrográfica urbana, determinando áreas menos frágeis à expansão urbana. Para tanto, foram gerados dois tipos de mapas, os mapas de fatores e mapas de restrição. A partir do cruzamento destes mapas resultaram os mapas síntese que agregam e sintetizam a informação, reduzindo o grau de incertezas e que proporcionaram suporte à tomada de decisão.

3.3.2.1 Mapas de fatores

Os mapas de fatores são os que espacializados variam, de forma contínua, de zero - 0 - (restrição absoluta) a 1 - um - (sem restrição), denominados também na literatura, de utilidades de tomada de decisão (Porto e Azevedo, 1997). Para a otimização e o armazenamento das informações e o processamento no software de geoprocessamento, a escala utilizada é em bytes, com 256 valores (0 a 255).

Os mapas de fatores são aqueles que representam geo-campos e que hierarquizam cada célula do mapa conforme uma variável indicadora de algum processo relevante para o processo de tomada de decisão. Estes expressam fragilidades em escala pré-definida e igual para todas as variáveis ambientais. E são obtidos pelo cruzamento de informações contemplando os meios físico, biótico e antrópico de acordo com cada tema, devidamente valorados em escala comum (MMA, 2009).

3.3.2.2 Mapas de restrições

Os mapas de restrições apresentam somente duas informações: uma área sem restrição e outra com restrição absoluta. As áreas com restrição absoluta não podem sofrer intervenção antrópica. Estes mapas foram gerados em escala booleana, ou seja, em valores de 0 com restrições absolutas, onde não pode haver expansão urbana e 1 para as áreas onde pode haver expansão urbana.

3.3.2.3 Mapas síntese

Os mapas síntese expressam o resultado final do cruzamento de informações que sintetizam o grau de fragilidade ambiental, da maior a menor fragilidade.

Desse modo, a escala utilizada foi em bytes (0-255). Os pesos maiores ou menores são resultantes na solução mais ou menos conservativa, quanto ao grau de fragilidade para expansão urbana.

O equacionamento foi realizado pixel a pixel em programa computacional do ArcGIS.

Inicialmente, o modelo utilizado consiste na soma ponderada dos mapas fatores (que contém notas de fragilidades, equação 3.1- 3.2):

$$VA = \text{Somatório } (F_i * p_i) = F_1 * p_1 + F_2 * p_2 + \dots + F_n * p_n \quad \text{Eq. 3.1}$$

Sendo: *F* o fator ou *aspecto temático* considerado; *p*, a ponderação do fator; e *n*, o número de fatores considerados. Em uma valoração padronizada de 0 a 1 para VA (Variável e Aspecto temático), o somatório de:

$$p_1 + p_2 + \dots + p_n = 1 \quad \text{Eq. 3.2}$$

O cruzamento de diferentes mapas que espacializam os critérios de valoração (mapas de fatores, F) caracterizam uma análise de multicritério para tomada de decisão. É claro que o equacionamento para o VA, conforme apresentado na equação anterior, pode envolver outras operações, além do somatório (Σ), como o produtório (π), além de operações lógicas, estatísticas e multivariadas (Equação 3.3):

$$VA = F_1 * F_2 * \dots * F_n \quad \text{Eq. 3.3}$$

3.3.2.4 Mapeamento por variável x aspecto temático x bloco

Na modelagem da análise ambiental consideraram-se os aspectos temáticos dos meios físico, biótico e antrópico. À medida que muitas variáveis foram utilizadas para a composição do mapa síntese, informações foram perdidas. Para que o modelo possa ser útil é importante que resultados intermediários sejam apresentados para a tomada de decisão. Dessa forma, o modelo constituiu-se em três níveis de modelagem, onde:

i) Cada Variável é caracterizada pela importância individual que apresenta na geração dos diferentes tipos de mapas.

ii) Cada Aspecto Temático é o resultado do equacionamento de Variáveis indicadoras de estado ou pressão, mapeáveis na escala do estudo, em 100% da área de estudo.

iii) Cada Bloco é constituído por Aspectos Temáticos considerados relevantes, indicadores de processos geradores de impacto no meio e do meio na expansão urbana.

iv) O Mapa Síntese da AAI é o resultado da ponderação entre os blocos temáticos dos meios físico, biótico e antrópico, apontando as fragilidades à ocupação urbana (Figura 3.3).

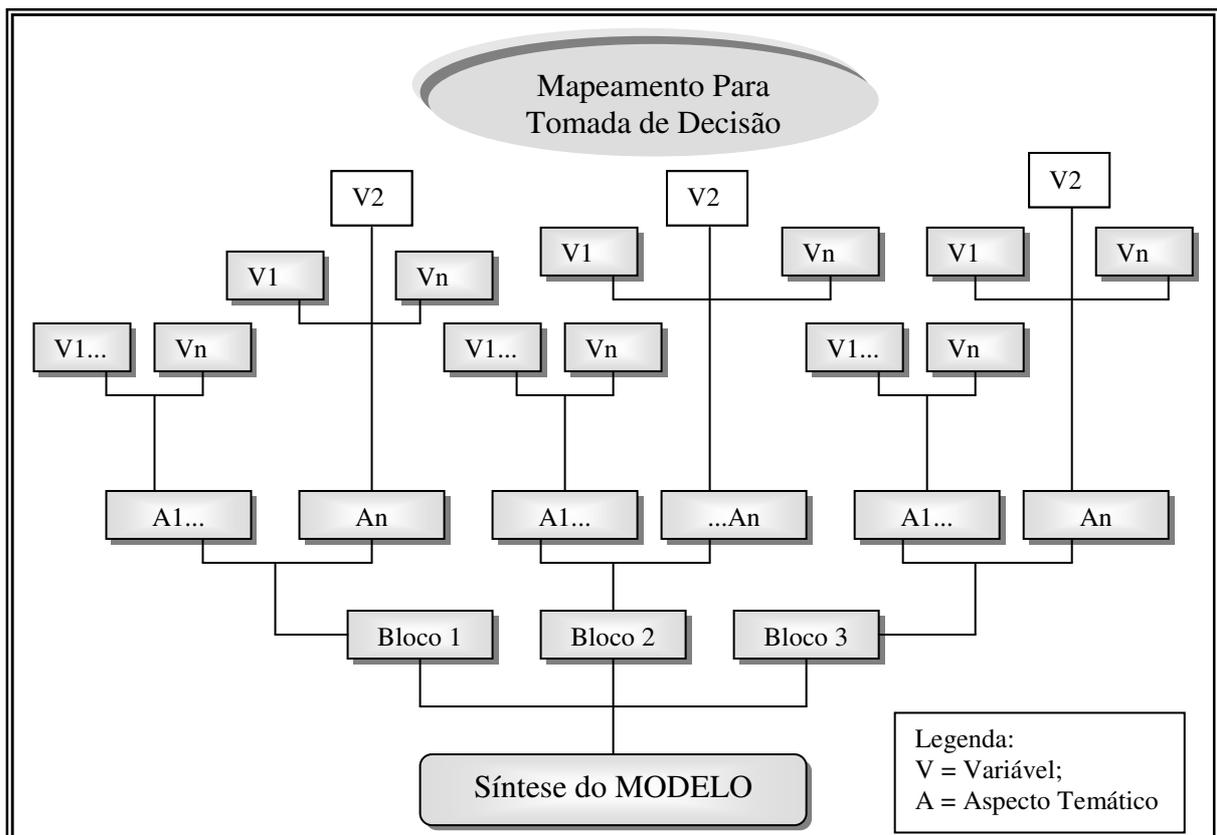


Figura 3.3 - Níveis de modelagem para tomada de decisão
Fonte: adaptado de MMA (2009).

As variáveis indicadoras de processo resultaram em mapas de fatores que variam sua fragilidade entre 0 a 255 ou mapas de restrições que caracterizam restrição total ou fragilidade ambiental 0 ou 1. Desse modo, os cruzamentos das variáveis resultaram no mapa síntese do aspecto temático. O resultado do cruzamento dos aspectos temáticos gerou o mapa síntese do bloco e, o cruzamento dos blocos temáticos, resultou no mapa síntese do MODELO (Figura 3.3).

3.4 Abordagem metodológica desagregada por bloco temático

3.4.1 Bloco meio físico

Para avaliar o meio físico, foram selecionadas variáveis que contemplem os seguintes aspectos temáticos: geologia/morfologia, contaminação das águas, estabilidade de encostas, risco de inundação e fragilidade à erosão que resultaram no mapa de fragilidades do meio Físico (Quadro 3.1).

Quadro 3.1 - Aspectos temáticos, variáveis e atributos estipulados ao meio físico

Aspectos Temáticos	Variáveis Associadas a notas de 0 à 255 255: máxima fragilidade 0: mínima Fragilidade	Atributos Quanto a importância
Geologia/ Morfologia	Geologia (litologia); Morfologia; Declividade; Água subterrânea.	Qualidade da rocha, resistência ao intemperismo, declividade dos modelados de relevo. Áreas mais vulneráveis e mais propícias à contaminação do aquífero.
Contaminação das águas	Águas superficiais.	Qualidade das águas superficiais
Estabilidade de encostas	Geologia; Morfologia; Declividade.	Tendência de ocorrer movimentos de massa, ter áreas de risco.
Área susceptível a risco de inundação	Declividade; Ordem dos cursos de água; Forma da bacia; Índice de impermeabilidade.	Tendência de ocorrer inundação.
Fragilidade à erosão	Solos; Declividade; Entorno dos cursos de água.	Transporte de sedimentos no leito dos rios.

3.4.1.1 Aspecto temático geologia/morfologia

O cruzamento das variáveis da geologia, morfologia, declividade e água subterrânea resultaram no mapa do aspecto temático geologia/morfologia (Figura 3.4).

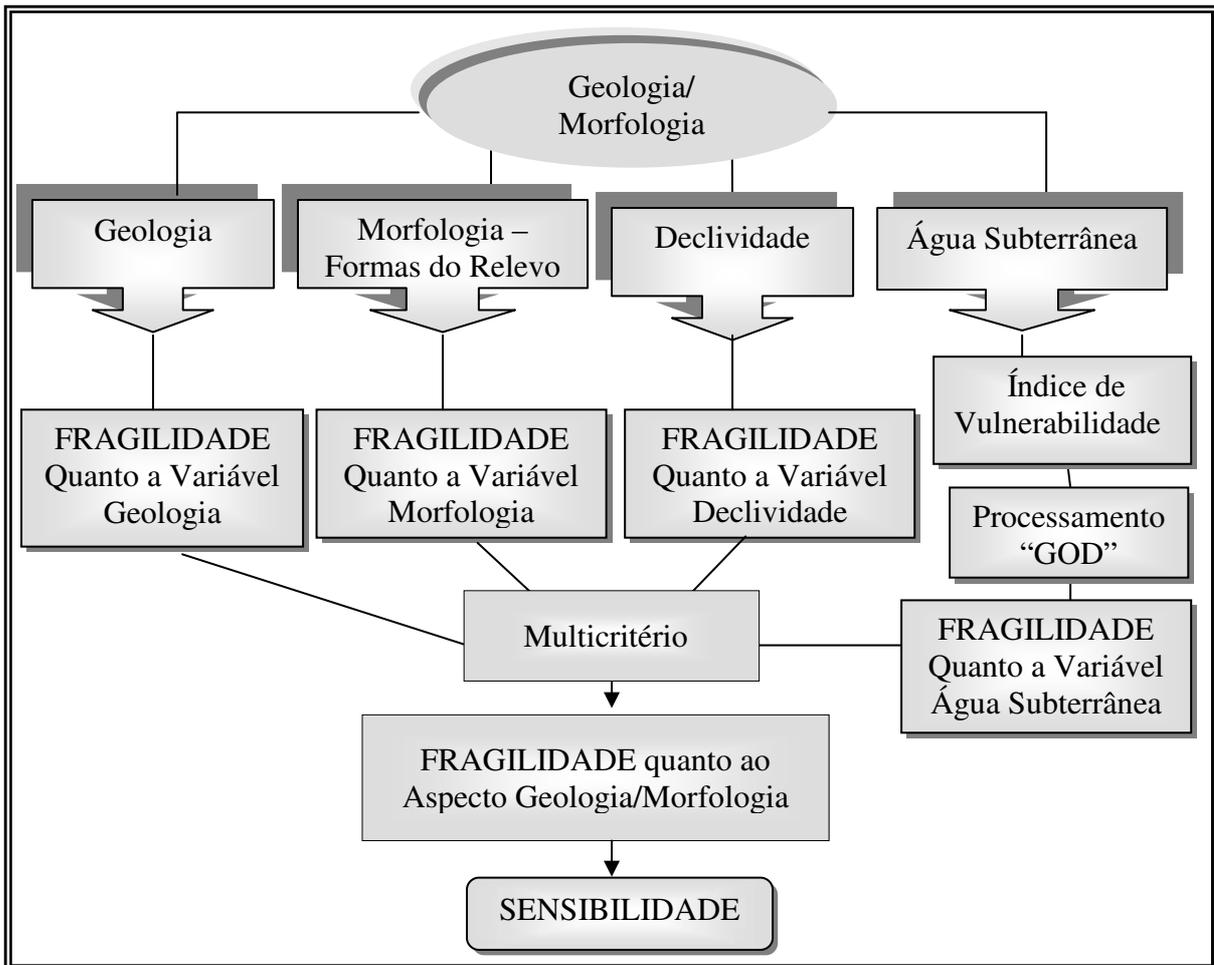


Figura 3.4 - Fluxograma do aspecto temático geologia/morfologia e suas variáveis

3.4.1.1.1 Geologia

Primeiramente elaborou-se o mapa geológico. Para a elaboração deste mapa utilizou-se como base o mapa geológico de Porto Alegre na escala 1:50.000 (Hasenack *et al.*, 2008), porém delimitando somente a área de interesse do presente estudo. A geologia consiste na presença das formações geológicas quanto ao tipo litológico e lineamentos (falhas e fraturas).

A variabilidade das formações geológicas, representadas pela litologia, consiste da maior à menor fragilidade quanto à resistência ao intemperismo. Desse modo, os valores atribuídos para as litologias mais frágeis quanto à alteração do intemperismo e da resistência geomecânica foram mais baixas, enquanto que as mais resistentes foram notas mais altas, variando, assim, de 0 à 255 bytes.

a) Avaliação da fragilidade

A geologia foi dividida em dois grupos distintos: um representado por rochas mais duras e outro por rochas menos resistentes identificado pela presença ou depósito de materiais

inconsolidados. A maior fragilidade encontra-se no grupo dos materiais inconsolidados caracterizado pelos depósitos aluviais (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Formações geológicas e fragilidades das rochas

Formação Geológica	Valores Atribuídos
Depósitos Aluviais	250 (> fragilidade) ¹
Terraços e Cordões Arenosos	200
Depósitos Eluviais do escudo	150
Granito Viamão	100
Granito Santana	80
Granito Ponta Grossa	30 (< fragilidade)

No primeiro grupo, representando as rochas mais duras, o Granito Viamão recebeu a maior fragilidade, uma vez que apresenta uma estrutura intemperizada, o que facilita a infiltração de água. Fujimoto (2005) descreve que esse granito apresenta uma série de características, sobretudo textuais e estruturais, que o identificam como uma rocha com facilidade para percolação de águas e propicia a intensificação dos processos de intemperismo e, sobretudo, de entalhamento fluvial, o que condiciona a formação do relevo. Seguindo este raciocínio, o Granito Viamão caracteriza-se como o mais frágil, seguido do Granito Santana e, de menor fragilidade, o granito Ponta Grossa.

As rochas sedimentares são caracterizadas como as mais frágeis, por serem depósitos inconsolidados que ainda não formaram uma rocha dura, enquanto que as ígneas e metamórficas apresentam maior resistência.

3.4.1.1.2 Morfologia

Para a elaboração do mapa morfológico, as formas do relevo tiveram como base a metodologia de Ross (1992), a qual tem como foco a realidade local, no quarto e quinto táxons da referida proposta de caracterização geomorfológica.

Neste mapeamento, observou-se a distribuição de diferentes setores das vertentes, os retilíneos, côncavos e convexos da bacia, confrontando-os com as diferentes classes de declividade. A identificação dos níveis taxonômicos foi obtida a partir da base Topodata do INPE (V3_tf_zip; curva vertical em 3 classes, com a interpretação da imagem pixel a pixel, 30 por 30 m) e por meio de trabalho de campo.

Posteriormente, foram atribuídas notas de fragilidade às diferentes formas do relevo, levando em consideração sua morfologia nas diferentes classes de declividade (0-2%, 2-5%,

¹ Valores altos indicam alta fragilidade – o valor 250 indica a formação de maior fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do arroio Capivara.

5-10%, 10-20%, 20-30% e >30%). Em todas as declividades constataram-se formas de relevo côncavo, convexo e retilíneo.

a) Avaliação da fragilidade

A forma de relevo convexa de 0 à 2% recebeu a nota mais baixa, ou seja, índice de fragilidade zero, mas os valores aumentam progressivamente até atingir 200 bytes (a nota máxima na declividade superior a 30%) nesta forma de relevo. Para cada forma de relevo foram atribuídas seis fragilidades, pela regra simples de três (Figura 3.5).

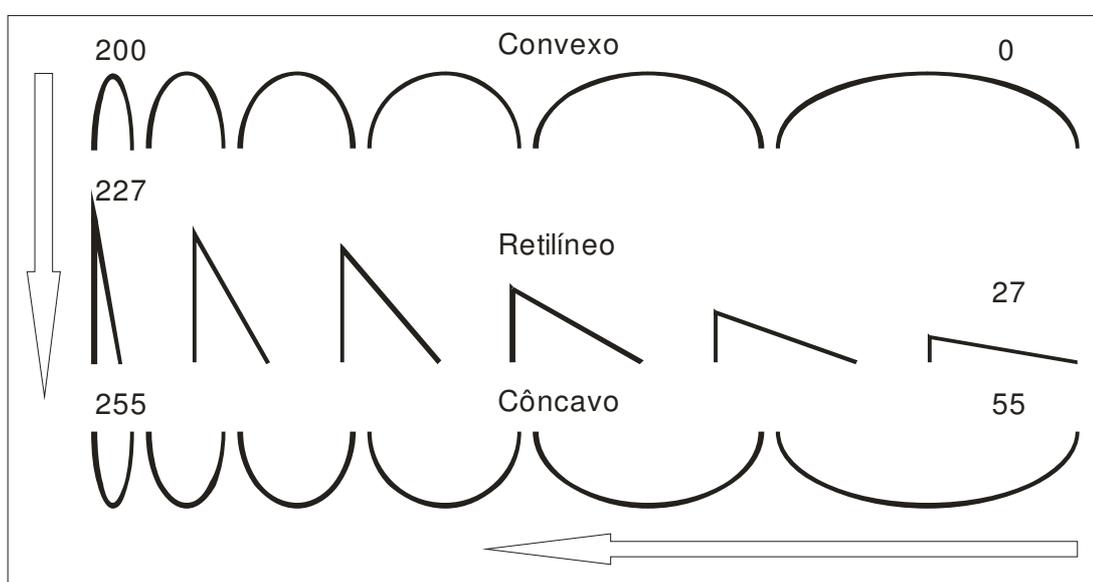


Figura 3.5 - Croqui esquemático das formas do relevo nas diferentes declividades

Na forma de relevo côncavo a maior nota de fragilidade atribuída foi para a classe de declividade superior a 30%, com 255 bytes (Tabela 3.2). Isto porque o relevo côncavo permite maior escoamento superficial aliado ao carreamento e deposição de solo para as partes mais baixas diminuindo a infiltração e, portanto, é mais susceptível a riscos ambientais. Enquanto que no convexo, parte da precipitação infiltra e o excedente escoar, diminuindo o índice de escoamento superficial, obtendo fragilidade menor na declividade superior a 30% característica de áreas de meseta, com topos mais planos. Santos e Castro (2006) afirmam que em declive côncavo entre o terço superior e médio das vertentes favorece a instalação de fluxos superficiais erosivos. Kirkby e Chorley (1967) acrescentam que a curvatura côncava em perfil, potencializa os fluxos hídricos, e a curvatura côncava em planta, produzindo a convergência destes fluxos, estão entre os principais fatores associados aos processos erosivos.

Tabela 3.2 – Formas do relevo nas diferentes classes de declividade e notas de fragilidades atribuídas.

Morfologia (formas do relevo)	Classes de declividade	Valores Atribuídos Fragilidades
Côncavo	0-2%	55
	2-5%	96
	5-10%	137
	10-20%	153
	20-30%	170
	>30%	255 (>Fragilidade) ²
Retilíneo	0-2%	27
	2-5%	47
	5-10%	67
	10-20%	135
	20-30%	151
	>30%	227
Convexo	0-2%	0 (< fragilidade)
	2-5%	13
	5-10%	33
	10-20%	66
	20-30%	133
	>30%	200

3.4.1.1.3 Áreas de declividade

As áreas de declividade foram definidas a partir das curvas de nível 1m x 1m e pelo MNT (Modelo Número do Terreno, 2005) em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas). As classes de declividade definidas foram as seguintes: 0- 2%, de 2-5%, de 5-10%, 10-20%, 20-30% e >30% (DIAS e FUJIMOTO, 2008). Com base nas classes de declividade foram atribuídas as notas em bytes de 0 à 255.

a) Avaliação da fragilidade

O mapa de declividade tem como base o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre (2000) que determina que áreas com declividade igual ou superior a 30% não permitem o parcelamento do solo ou a urbanização (Tabela 3.3).

² Indica a máxima fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do arroio Capivara para esta variável.

Tabela 3.3 - Classes de declividade e notas de fragilidades atribuídas.

Classes de declividade normas legais	Valores atribuídos fragilidades
0-2%	0
2-5%	51
5-10%	120
10-20%	180
20-30%	230
>30%	255

3.4.1.1.4 Água subterrânea

3.4.1.1.4.1 Índice de vulnerabilidade

Para determinar o Índice de vulnerabilidade da água subterrânea, inicialmente, realizou-se o levantamento do cadastro dos poços tubulares junto ao SIAGAS/CPRM - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas no Brasil - para a Bacia em estudo (ANEXO A). Foram acessados os dados dos poços cadastrados e registrados no site do SIAGAS e posteriormente, isolados em planilha Excel para a espacialização no programa ArcGIS 9.3.3.

Para tanto, utilizou-se a metodologia “GOD”. Esta metodologia permitiu a identificação de áreas críticas, ou seja, as áreas de captação que apresentam maior vulnerabilidade. A metodologia é denominada com base nas letras iniciais das palavras do inglês, significando respectivamente *Groundwater hydraulic confinement* (grau de confinamento hidráulico), *Overlaying strata* (Ocorrência de substrato litológico), *Depth to groundwater table* (Distância da água, ou seja, profundidade da água até o teto, FOSTER e HIRATA, 1991).

A referida metodologia é composta por três elementos para a avaliação do índice. O índice de vulnerabilidade é o produto de três valores obtidos e classificados conforme os valores: desprezível (0,0 a 0,1), baixa vulnerabilidade (0,1 a 0,3), média vulnerabilidade (0,3 a 0,5), alta vulnerabilidade (0,5 a 0,7) e extrema vulnerabilidade (0,7 a 1,0). A Figura 3.6 apresenta as pontuações quanto ao índice de vulnerabilidade das águas subterrâneas.

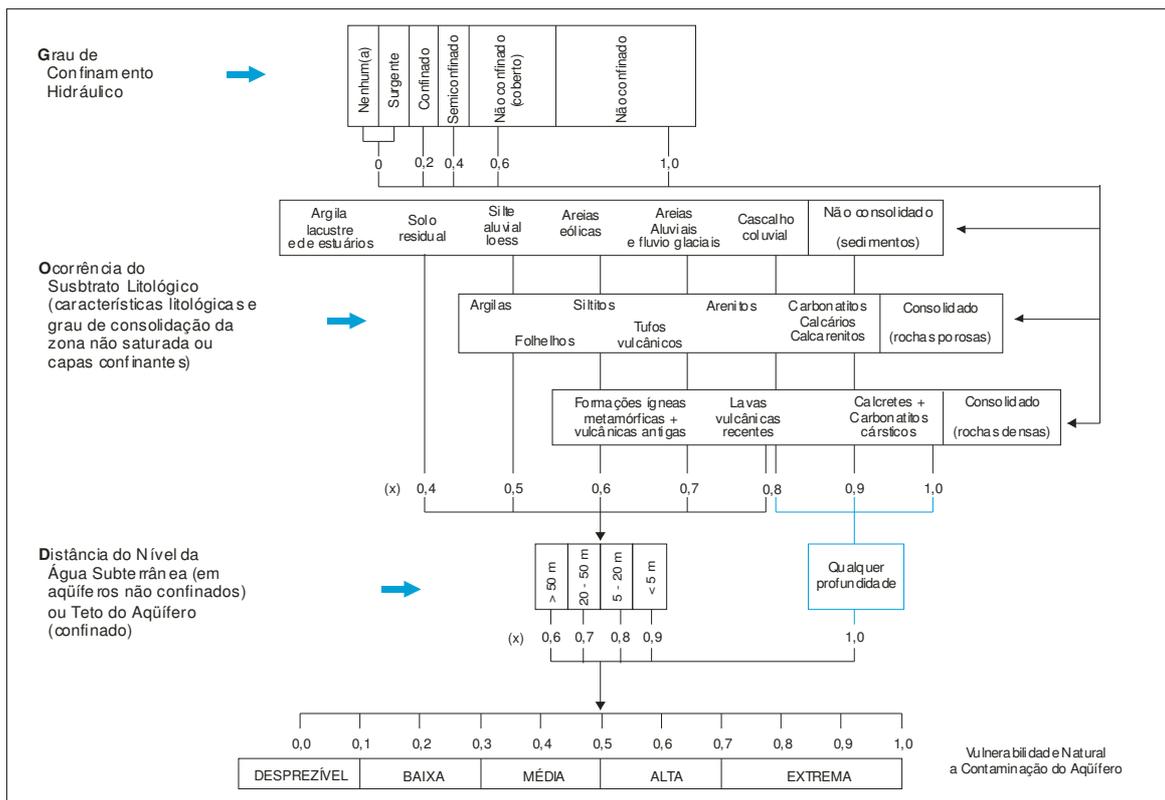


Figura 3.6- Parâmetros para a avaliação da vulnerabilidade
 Fonte: Foster e Hirata (1991).

Desse modo, ao índice de vulnerabilidade foram atribuídas as fragilidades ambientais conforme tabela (3.4).

Tabela 3.4 - Índice de vulnerabilidade da água subterrânea na bacia hidrográfica do arroio Capivara

Índice de vulnerabilidade	Pontuação	Notas atribuídas ³ fragilidade bytes (0-255)
Média	(0,45 a 0,47)	188 (< fragilidade)
Média	(0,47 a 0,48),	196
Média	(0,48 a 0,49)	200
Média	(0,49 a 0,51)	205
Alta	(0,51 a 0,52)	213
Alta	(0,52 a 0,54)	217
Alta	(0,54 a 0,55)	226
Alta	(0,55 a 0,57)	230
Alta	(0,57 a 0,58)	238
Alta	(0,58 a 0,61)	255 (> fragilidade)

O mapa do índice de vulnerabilidade de águas subterrâneas, realizado por interpolação, teve duas estimativas. A primeira contemplou 100% dos poços tubulares de Porto Alegre, onde a interpolação foi realizada para 145 poços. Na segunda, utilizou-se o método de

³ O mapa da fragilidade da água subterrânea foi elaborado seguindo os valores apresentados na tabela 3.4.

aproximação, onde foram interpolados somente os poços tubulares situados na proximidade. Constatou-se, entretanto, que a diferença foi mínima. No entanto, verificou-se que os resultados apresentados pelo método de aproximação retrataram melhor a realidade da área de estudo.

Aspecto temático geologia/morfologia

O Equacionamento da fragilidade deste aspecto temático pode ser observado pela (Equação 3.4):

$$\text{Mapa Aspecto Temático} = (P1 * MfragGeo) + (P2 * MfragMorfo) + (P3 * MfragDecl) + (P4 * MfragH2O Sub) \quad \text{Eq. 3.4}$$

- PI: iguais = 0,25
- PI = Peso Inicial;
- Geo = Geologia;
- Morfo = morfologia;
- Decl = Declividade;
- H2O Sub = Água Subterrânea
- Mfrag = Mapa de Fragilidade

3.4.1.2 Aspecto temático contaminação das águas

A síntese deste aspecto resultou do cruzamento da carga orgânica remanescente da população e a agricultura urbana (Figura 3.7).

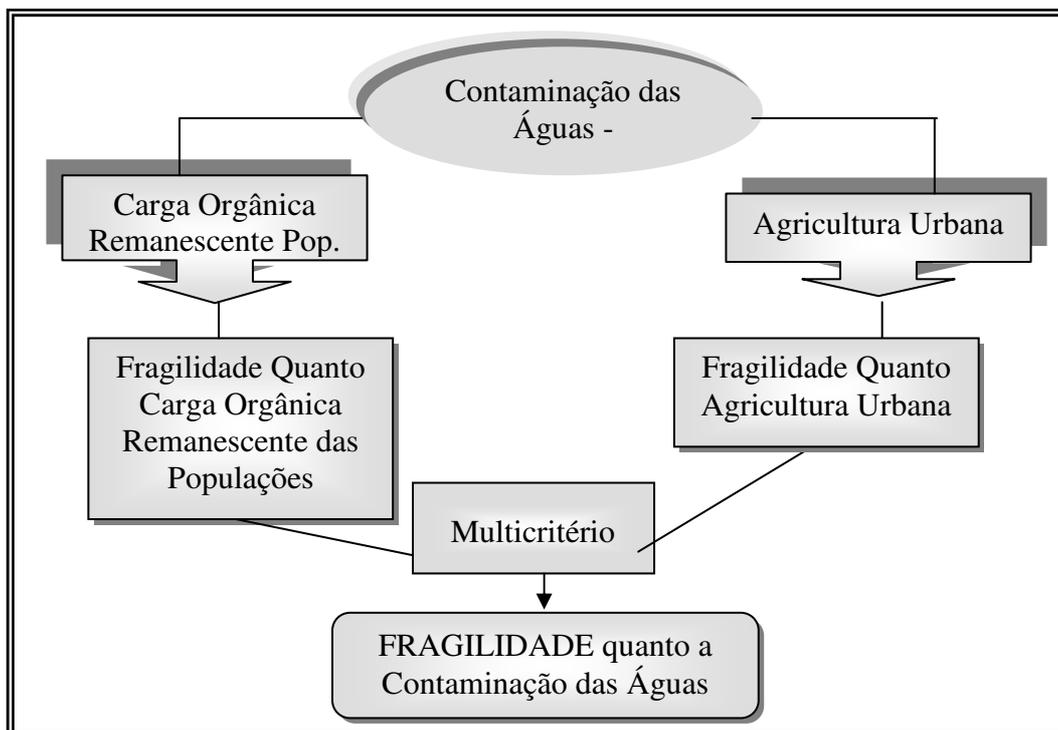


Figura 3.7 - Fluxograma do aspecto temático contaminação das águas

3.4.1.2.1 Águas superficiais: valor estimado

A importância na seleção da carga orgânica remanescente das populações e do índice de agricultura urbana se deve a interferência que, tanto, as cargas das populações quanto os agrotóxicos exercem diretamente na qualidade da água e, sem o devido tratamento, causam sérios danos ao sistema aquático.

3.4.1.2.2 Carga orgânica remanescente da população

A carga orgânica remanescente da população foi obtida a partir de dados do IBGE (2000) por setores censitários. As tabelas do censo utilizadas foram as que identificaram o número de economias para cada situação de tratamento de esgotos e as que definiram o número médio de habitantes por economia (ANEXO B). A população por tipo de tratamento de esgoto foi estimada multiplicando-se o número de economias de cada situação pelo número médio de habitantes por economia. A carga orgânica remanescente estimada conforme o equivalente populacional de DBO5 (54g/hab/dia) e segundo os fatores de redução, pela classificação das situações dos domicílios e da classe de tratamento, metodologia adotada em vários estudos (FEPAM/UFRGS, 2004; FEPAM/UFSM, 2005; MMA, 2009). A equação que determinou a carga remanescente é apresentada a seguir:

$$\text{Crem} = \text{Pop} * (54\text{g/hab/dia}) * \text{Fred} \quad 3.5$$

Sendo:

Crem: a carga orgânica remanescente, Pop a população da Unidade censitária e Fred, o fator de redução conforme Tabela (3.5).

Tabela 3.5 - Fatores de redução (Fred) de cargas de DBO (CNEC, 1980; MMA, 2009).

Parâmetro	Classes	Fator de Redução
DBO5,20	População ligada a rede geral (canalizações mistas)	0,5
DBO5,20	Populações atendidas por Fossa séptica (sistema decantação/infiltração)	0,85

Fonte: MMA (2009).

Para o entendimento desta abordagem, o fluxograma (3.8) apresenta, detalhadamente, o procedimento adotado para obter o mapa de fragilidades da carga orgânica remanescente da população.

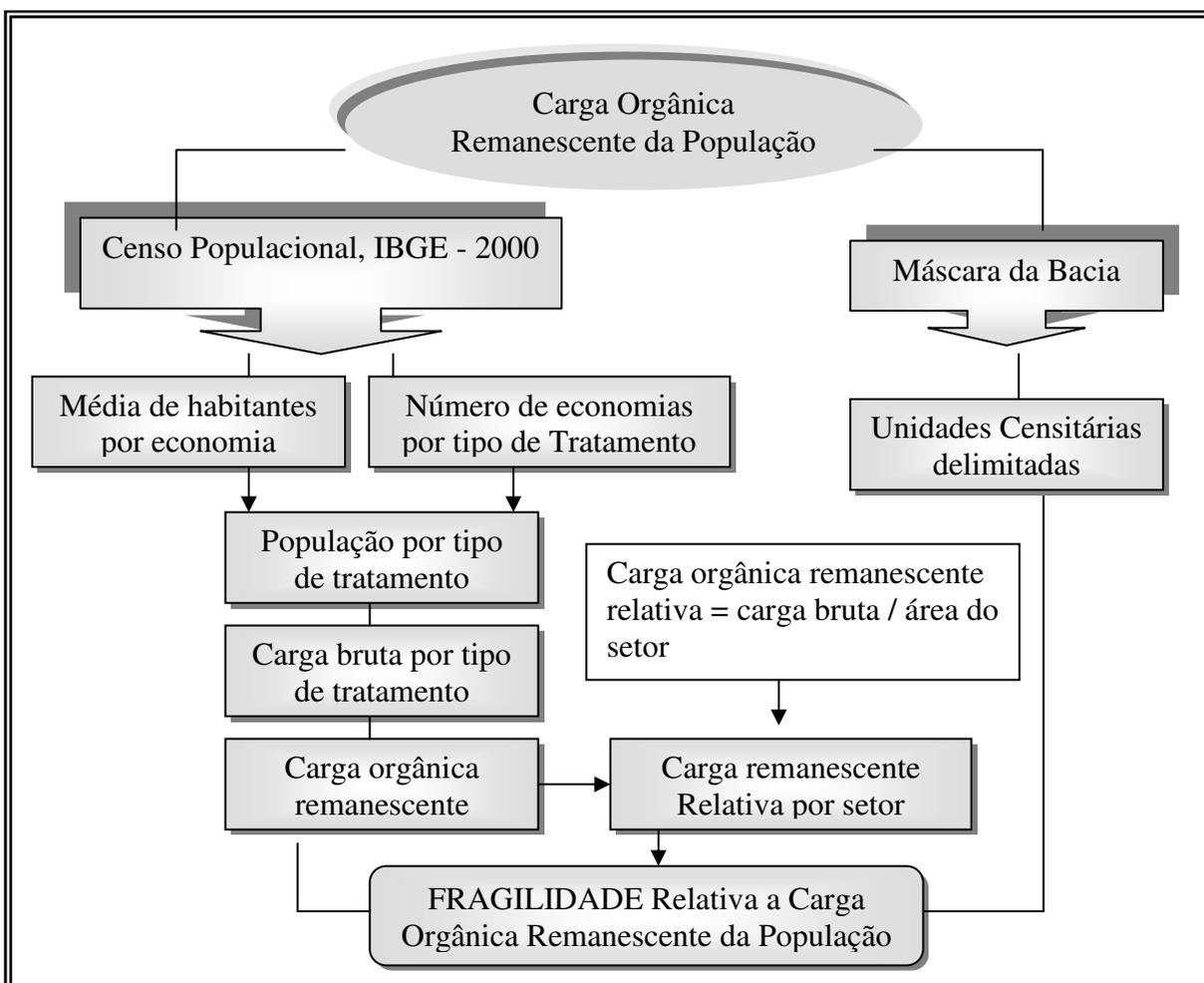


Figura 3.8 - Fluxograma da variável carga orgânica remanescente da população

a) Avaliação da fragilidade

A carga orgânica remanescente da população foi obtida inicialmente por unidade censitária e, posteriormente, por sub-bacias de contribuição, definidas pelos pontos de coleta de água (Tabela 3.6). O índice de fragilidade maior consiste onde há maior carga orgânica (255 Bytes) as demais foram definidas por regra de três simples.

Tabela 3.6 – Carga orgânica remanescente da população por unidade censitária segundo as fragilidades atribuídas

Carga orgânica remanescente da população – classes por UC (g/dia)	Valores atribuídos fragilidades
194 – 4.000	0
4.000 – 8.000	30
8.000 – 12.000	60
12.000 – 16.000	90
16.000 – 20.000	120
20.000 – 24.000	150
24.000 – 28.000	210
28.000 – 34.000	255

UC: Unidade Censitária

3.4.1.2.3 Agricultura urbana

A agricultura urbana revela a intensidade da atividade agrícola no meio urbano e se constitui no indicativo da potencialidade de contaminação por insumos agrícolas. A partir deste entendimento, a área agrícola foi definida por meio do mapa de uso e ocupação do solo (gerado através de interpretação de imagem de satélite Quickbird, resolução de 60 cm) que permitiu gerar duas classes distintas: uma área explorada com culturas permanentes e outra para culturas temporárias.

Considera-se que a perda de nutrientes é proporcional à perda de solos. Portanto, o equacionamento envolve o critério de que uma unidade de área de culturas permanente equivale, em termos de impacto, a 20% da unidade de área das culturas temporário. Referindo-se ao potencial poluidor, considera-se que as perdas de solos em lavouras permanentes são menores do que as de lavouras temporárias na ordem da quinta parte. Quanto maior o índice, maior a fragilidade e maior o aporte potencial. As notas atribuídas foram menores em lavouras permanentes e maiores em lavouras temporárias na ordem da quinta parte (FEPAM/UFSM, 2005: MMA, 2009).

a) Avaliação da fragilidade

As culturas temporárias indicam que a cultura permanente é cinco vezes menos impactante, portanto, a menor fragilidade corresponde a 51 (Tabela 3.7).

Tabela 3.7 – Tipo de cultura e as fragilidades atribuídas

Tipos de culturas	Valores atribuídos
Temporária	255 (> fragilidade)
Permanente	51 (<fragilidade)

Aspecto temático contaminação das águas

O Equacionamento da fragilidade do aspecto temático pode ser observado pela (Equação 3.6):

$$\text{Mapa Aspecto Temático} = (P1 * \text{Mfrag } 1) + (P2 * (\text{Mfrag } 2)) \quad \text{Eq. 3.6}$$

PI : iguais = 0,5

PI = Pesos Iniciais

CORpop = Carga Orgânica Remanescente das Populações;

AURB = Agricultura Urbana.

Mfrag = Mapa de fragilidade

3.4.1.3 Aspecto temático estabilidade de encostas

Este aspecto tem como base o cruzamento das variáveis: geologia, geomorfologia e declividade (Figura 3.9).

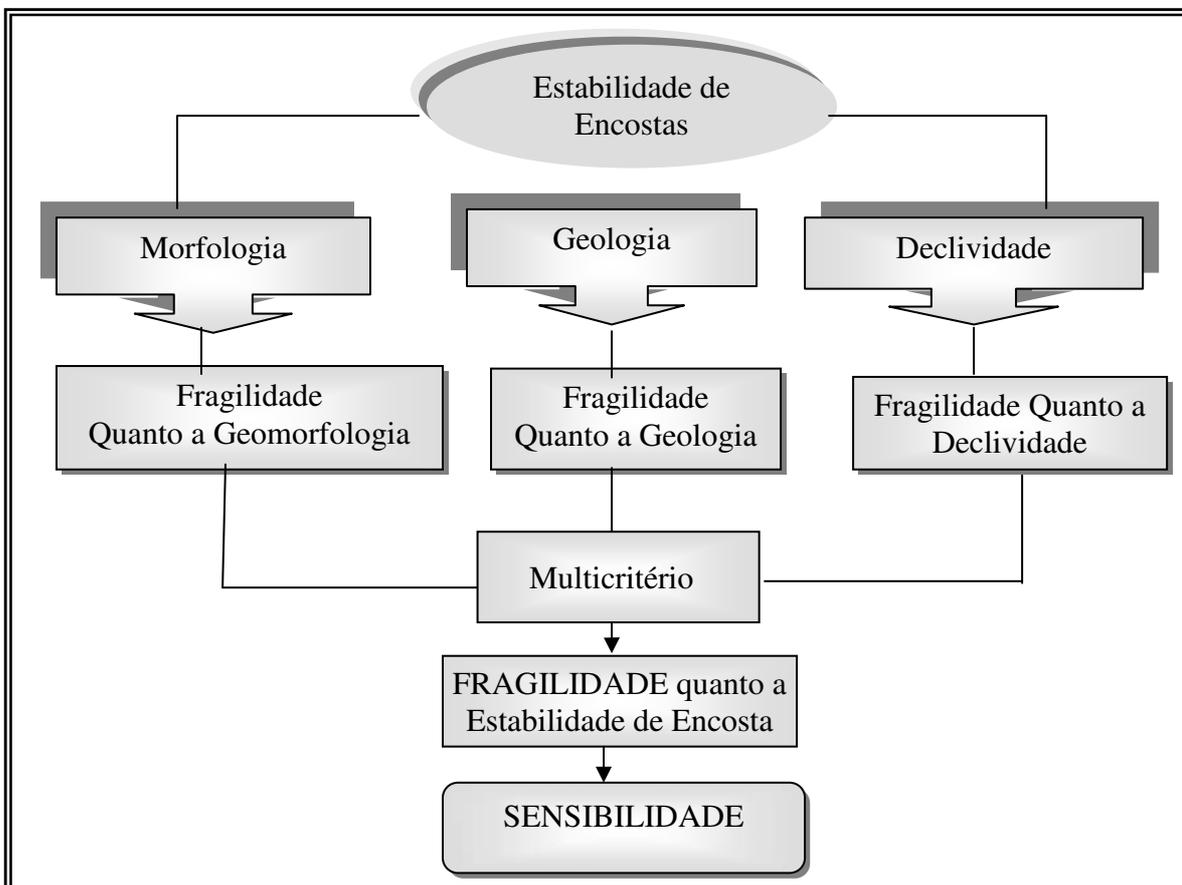


Figura 3.9 - Fluxograma do aspecto temático estabilidade de encostas e suas variáveis

3.4.1.3.1 Morfologia

Os procedimentos adotados para a elaboração do mapa de fragilidades da morfologia, bem como seus critérios de avaliação foram os mesmos do aspecto temático geologia/morfologia do item 3.4.1.1.2 da página 50.

3.4.1.3.2 Geologia

Os procedimentos e os critérios adotados neste aspecto temático para a elaboração do mapa de fragilidades da geologia foram os mesmos do aspecto temático geologia/morfologia item 3.4.1.1.1 da página 49.

3.4.1.3.3 Declividade

As áreas de declividade foram definidas a partir das curvas de nível 1m x 1m cedidas por Hasenack *et al.*, (2010) e processadas em ambiente SIG. A classificação seguiu as normas de acordo com IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, 1981) nas seguintes classes de declividade: < 2%, de 2-5%, de 5-15% e >15%. Com base nas classes foram atribuídas as notas em Bytes de 0 à 255.

a) Avaliação da fragilidade

As classes de maior declividade receberam notas maiores por representarem áreas mais íngremes e, portanto, mais frágeis (>15%) e de maior instabilidade. As classes de menor declividade receberam as notas mais baixas por serem consideradas áreas mais planas e menos susceptíveis a instabilidades da encosta. As notas da fragilidade da declividade seguem na tabela 3.8.

Tabela 3.8 - Classes de declividade e notas de fragilidades atribuídas.

Classes de declividade IPT, 1981	Valores atribuídos - fragilidades
0-2%	0
2-5%	95
5-15%	180
>15%	255

Aspecto Temático Estabilidade de Encostas

O Equacionamento da fragilidade do aspecto temático está representado na Equação 3.9:

$$\text{Mapa Aspecto Temático} = (P1 * MfragGeo) + (P2 * MfragGeomorfo) + (P3 * MfragDecl) \text{ Eq.3.6}$$

PI: iguais = 0, 333

Sendo:

PI = Peso Inicial

MfragGeo = Mapa de Fragilidade da Geologia

MfragGeomorfo = Mapa de Fragilidade da Geomorfologia

MfragDecl = Mapa de Fragilidade da Declividade

3.4.1.4 Aspecto temático risco de inundação

O aspecto temático risco de inundação tem suas variáveis associadas à declividade, ordem dos cursos de água, forma da bacia hidrográfica e índice de impermeabilidade (Figura 3.10).

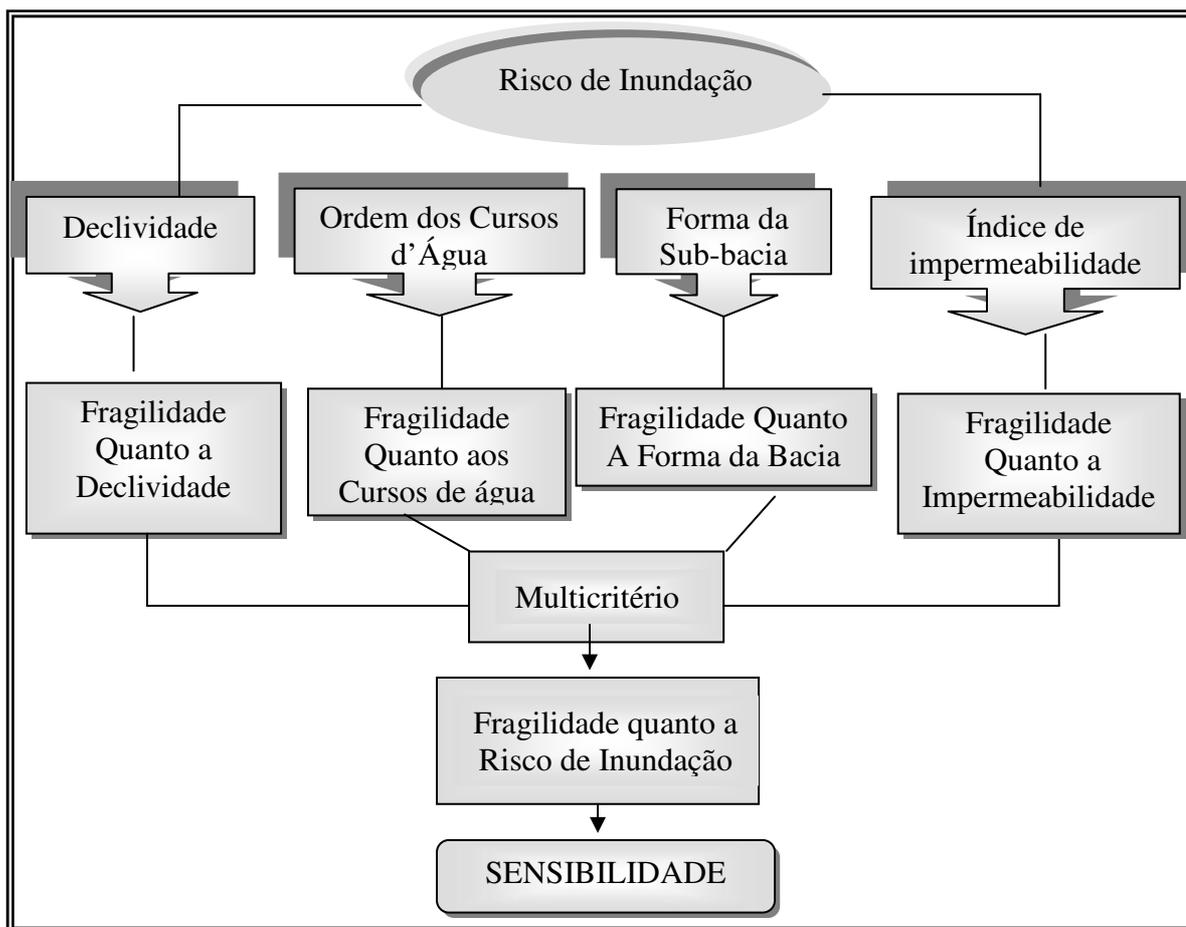


Figura 3.10 - Fluxograma do aspecto temático risco de inundação e suas variáveis

3.4.1.4.1 Declividade

As classes de declividade e as notas de fragilidade seguem critérios estabelecidos por Dias e Fujimoto (2008): 0-2%, 2-5%, 5-10%, 10-20%, 20-30% e >30%. Estes valores foram reclassificados para notas em bytes entre 0 e 255.

A definição da declividade foi realizada na ordem decrescente da direção do fluxo de água. Desta forma, quanto menor a declividade maior a probabilidade de ocorrer inundação e para tanto, sua definição ocorre no sentido inverso do fluxo.

a) Avaliação da fragilidade

As classes de menor declividade receberam notas maiores por representarem áreas mais propícias à ocorrência de inundação e, portanto, mais frágeis (<2%). As classes de maior declividade receberam notas menores por serem menos susceptíveis a ocorrência de inundação. Seguindo a linha de pensamento de Tucci (2007), que ressalta: “áreas mais baixas estão sujeitas a maior frequência de ocorrência de enchentes” ou de inundação. Na tabela 3.9 estão definidas as fragilidades no sentido inverso do fluxo de água.

Tabela 3.9 - Fragilidades ambientais segundo as classes de declividade

Classes declividade	Valores atribuídos fragilidade
0-2% ⁴	255 (< fragilidade)
2-5%	230
5-10%	180
10-20%	120
20-30%	51
>30%	0 (> fragilidade)

3.4.1.4.2 Ordem dos cursos de água

A definição da ordem dos cursos de água seguiu a classificação proposta por Strahler (1952). Desta forma, todos os cursos d'água sem tributários são de primeira ordem, inclusive os trechos da nascente do rio principal e dos afluentes. Os trechos de segunda ordem foram estabelecidos pela confluência de dois canais de dois trechos de primeira ordem. Os de terceira ordem são formados pela confluência de dois trechos de segunda ordem. Um trecho de ordem u é estabelecido pela confluência de dois trechos de ordem u-i, podendo receber afluência de trechos de qualquer ordem inferior.

Desse modo, definiu-se a altura máxima de inundação por ordem, ou seja, quanto maior a ordem do curso de água proposto por Strahler (1952), maior a probabilidade de ocorrer inundação e conseqüentemente maior a fragilidade ambiental. Os cursos de água de maior ordenamento caracterizam segmentos de rio de maior pontuação e receberam notas maiores.

a) Avaliação das fragilidades

A nota de fragilidade foi atribuída em ordem decrescente para os cursos de água, levando em consideração que os cursos de água de 4º ordem estão mais susceptíveis a ocorrência de inundação e os afluentes de 1º ordem notas menores por serem menos propicias. (Tabela 3.10).

Tabela 3.10 – Ordem dos cursos de água e as fragilidades atribuídas

Ordem dos cursos de água	Valores atribuídos
4ª Ordem	255 (> fragilidade)
3ª Ordem	180
2ª Ordem	75
1ª Ordem	20 (<fragilidade)

⁴ Na menor declividade há maior probabilidade de ocorrer inundação

3.4.1.4.3 Forma da bacia

A forma da bacia caracteriza-se como fator importante, por determinar o tempo de concentração, ou seja, o tempo necessário, a partir do início da precipitação, para que toda a bacia contribua na seção da área de estudo. Para tanto, o Índice de Gravelius foi determinado, relacionando o perímetro de cada sub-bacia com o perímetro do círculo de mesma área, segundo a fórmula:

$A = \pi \cdot R^2 \rightarrow R = \sqrt{A / \pi} \rightarrow K_c = P / 2 \pi R$, resultando em:

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \text{Eq. 3.11}$$

Sendo:

P= perímetro (km)

A =área (km²)

c K =Índice de Gravelius ou Coeficiente de Capacidade

Neste entendimento, quando o índice de Gravelius for igual a 1,0 caracteriza uma bacia com configuração circular com maior tendência para enchentes acentuadas (Costa e Lança, 2001) ou inundação. E em uma bacia circular, toda a água escoada tende a alcançar a saída da bacia ao mesmo tempo. Quanto mais o valor encontrado se afastar da unidade, mais diferente do círculo será a bacia. A tendência para maiores inundações é tanto mais acentuada quanto mais a sub-bacia tiver forma próxima do círculo. O mapa de índice de Gravelius gerado levou em consideração estes fatores.

Para tanto, a bacia hidrográfica do arroio Capivara foi dividida em sub-bacias, delimitando-as em bacias de contribuição lateral, totalizando 26 sub-bacias. Os valores calculados correspondem a 18, tendo em vista que algumas bacias apresentaram o mesmo valor da forma da bacia. O programa utilizado para a delimitação em sub-bacias foi o Idrisi Andes, através da definição automática e o processamento posterior foi realizado no programa do ArcGIS 9.3.3.

a) Avaliação da fragilidade

As notas de fragilidade foram atribuídas após a realização do cálculo para cada sub-bacia. As sub-bacias mais arredondadas receberam as maiores fragilidades (255) por representarem áreas mais susceptíveis a inundação e os valores mais afastados de um receberam notas menores pela sua fragilidade (Tabela 3.11).

Tabela 3.11 - Valores da forma das sub-bacias e suas fragilidades

Sub - bacias	Forma da bacia (kc=valor calculado)	Valores atribuídos (fragilidade)
B22	1,12	255
B2	1,12	255
B9	1,12	255
B20	1,46	205
B15	1,63	190
B21	1,65	180
B5	1,68	175
B23	1,71	170
B12	1,71	170
B8	1,71	170
B14	1,71	170
B17	1,75	160
B26	1,79	155
B25	1,85	128
B3	1,85	128
B1	1,87	95
B4	1,87	95
B19	1,91	70
B18	1,91	70
B13	1,91	70
B10	1,99	60
B24	2,09	63
B7	2,23	50
B16	2,26	48
B6	2,48	35
B11	2,69	0

3.4.1.4.4 Índice de impermeabilidade

O índice de impermeabilização foi extraído da imagem do Satélite QuickBird PACK (21/05/2005) 2,40m Color (4 bandas multiespectrais - azul, verde, vermelho e infravermelho-próximo) e 0,60m P&B (1 banda pancromática). As bandas utilizadas neste levantamento foram 1, 3 e 5 as que melhor identificaram o ambiente urbano, com o intuito de criar uma base de dados georreferenciados. Quanto maior a área urbanizada, maior a probabilidade de ocorrer inundação.

A identificação do percentual de áreas impermeáveis foi processada através da classificação supervisionada, determinando as classes 0 e 1. O zero representando a classe permeável e 1 à classe impermeável (REIS *et al.*, 2011).

a) Avaliação da fragilidade

A fragilidade quanto à impermeabilidade foi definida por sub-bacia. A sub-bacia de maior impermeabilidade recebeu a maior nota de fragilidade (255) e a menos impermeável a menor nota (0). Os valores foram cálculos com base no tamanho da área impermeabilizada e regra de três simples (Tabela 3.12).

Tabela 3.12 - Índice de impermeabilidade e fragilidades atribuídas

Sub-bacias	Índice de impermeabilidade (%)	Valores de fragilidade
B1	73,05	186
B2	87,00	222
B3	100	255
B4	79,63	203
B5	66,76	170
B6	69,79	177
B7	58,86	150
B8	46,32	118
B9	60,00	153
B10	8,48	20
B11	69,01	176
B12	21,74	55
B13	65,83	167
B14	62,74	160
B15	33,67	85
B16	13,44	34
B17	20,66	52
B18	20,00	51
B19	5,00	14
B20	9,40	24
B21	3,33	8
B22	4,42	11
B23	17,78	45
B24	8,49	21
B25	1,15	0
B26	31,03	79

Aspecto temático risco de inundação

Este aspecto foi obtido pelo cruzamento dos mapas de fragilidades da declividade, ordem do curso de água (Sthraler), forma da bacia hidrográfica (Índice de Gravelius) e índice de impermeabilidade (Equação 3.7).

$$\text{Mapa Aspecto temático} = (P1 * MfragDecl) + (P2 * MfragOrd) + (P3 * MfragFBaurb) \quad \text{Eq.3.7}$$

PI: iguais =0,333

PI= Pesos Iniciais;
MfragDecl = Mapa de Fragilidade da Declividade;
MfragOrd = Mapa de Fragilidade da Ordem dos Cursos de Água;
MfragFBaurb = Mapa de Fragilidades da Forma da Bacia Urbana.

3.4.1.5 Aspecto temático fragilidade à erosão

O aspecto temático, fragilidade a erosão, indica a sobreposição das variáveis do solo, entorno dos cursos e água ou incremento e declividade que resultaram no mapa de fragilidade ambiental do aspecto (Figura 3.11).

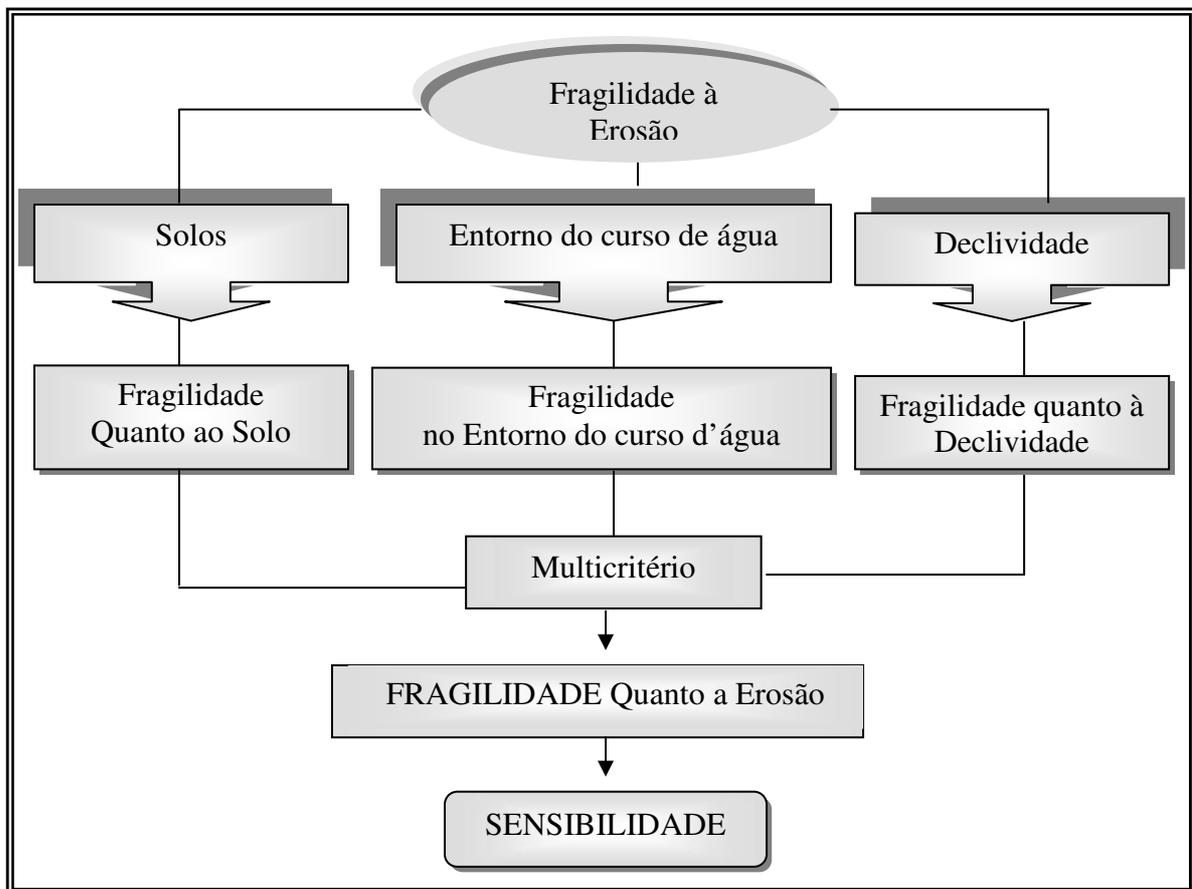


Figura 3.11 - Fluxograma do aspecto temático fragilidade à erosão e suas variáveis

3.4.1.5.1 Solos

O mapa da variável solos foi obtido através da reclassificação do mapa de solos do Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre (Hasenack, *et al.*, 2008) na escala 1:50.000. De acordo com a Fundação Estadual de Proteção Ambiental - FEPAM (2006), os solos apresentam diferentes graus de resistência aos impactos ambientais, variam conforme a profundidade, textura, espessura, cor, relevo.

A hierarquia de fragilidade dos solos a impactos ambientais varia de Alta a Baixa fragilidade, indicando o grau de resistência. O grau de resistência dos solos aos impactos ambientais foi o indicador utilizado para definir a fragilidade ambiental e, a partir deste, atribuídas as notas (0 – 255).

a) Avaliação da fragilidade

Para a avaliação das unidades dos solos foi utilizada a classificação da susceptibilidade ambiental desenvolvida pela FEPAM (2001). Na classificação dos solos quanto à resistência a impactos genéricos, desenvolvida pela FEPAM (2001), foram utilizados critérios baseados nas características e propriedades das unidades de mapeamento de solos.

De acordo com essas duas referências atribuíram-se os valores de fragilidade a cada solo. O solo que apresentou maior fragilidade é a Associação de Cambissolos Hápicos com Neossolos Litólicos ou Neossolos Regolíticos, com o valor em bytes de 255 (Tabela 3.13).

Tabela 3.13 - Tipos de solos, sua resistência e as fragilidades atribuídas

Tipos de solos	Resistência	Valores de fragilidade
CX	B	255
PV2	C*	153
SG1	C	0
PV1	C	0

Legenda:

CX = Associação de Cambissolos Hápicos com Neossolos Litólicos ou Neossolos Regolíticos
 PV2 = Associação de Argissolos ou Argissolos Vermelho-Amarelos com Cambissolos Hápicos
 SG1 = Associação de Planossolos Hidromorfo, Gleissolos Hapicos e Plintossolos Argiluvicos
 PV1 = Grupo Indiferenciado de Argissolos Vermelhos e Argissolos Vermelho-Amarelos

3.4.1.5.2 Entorno dos cursos de água

Para a variável entorno dos cursos de água, foi usado o critério das áreas de preservação Permanente – APPs, que consiste na preservação permanente do entorno dos cursos de água de 30 metros pelo Código Florestal Federal (BRASIL, 1965).

Desta forma, criou-se um buffer que indica as áreas mais propícias à erosão. Neste buffer são indicadas as classes em metros onde há maior probabilidade de ocorrer à erosão. A classe de maior fragilidade é a que fica mais próximo do curso de água, ou seja, à distância de 0 a 30metros indicando as fragilidades mais altas, quanto mais distante menor a fragilidade.

a) Avaliação da fragilidade

As fragilidades ambientais com valores de 255 bytes foram atribuídas para os primeiros 30 metros que circundam os arroios (Tabela 3.14).

Tabela 3.14 - Entorno dos cursos de água e as respectivas fragilidades

Entorno dos cursos de água	Valores atribuídos
30 metros	255 (> fragilidade)
> 30 metros	0

3.4.1.5.3 Declividade

Os procedimentos e a definição das fragilidades quanto a declividade deste aspecto seguem os mesmos do aspecto temático geologia/morfologia do item 3.4.1.1.2 da página 52.

Aspecto temático fragilidade a erosão

O Equacionamento da síntese dos mapas de solos, entorno dos cursos d'água e de declividade pode ser observado na Equação 3.8.

$$\text{Mapa Aspecto Temático} = (P1 * MfragS) + (P2 * MfragECA) + (P3 * MfragDecl) \quad \text{Eq.3.8}$$

PI: iguais = 0,333

S= solos;

ECA= Entorno dos cursos d'água;

Decl= Declividade;

PI= Pesos Iniciais.

3.4.1.6 Fragilidades do bloco meio físico

A integração dos aspectos do meio físico resultou na síntese das áreas mais e menos indicadas para expansão urbana e licenciamentos ambientais deste bloco (Figura 3.12).

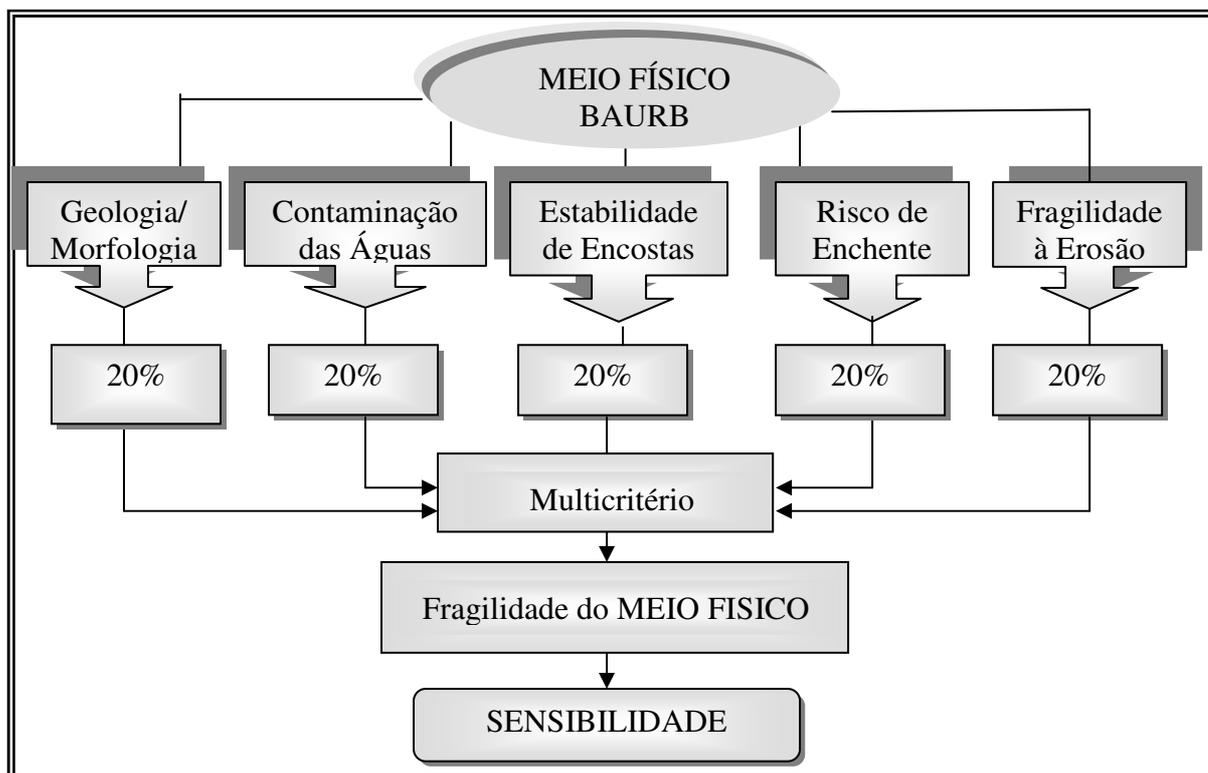


Figura 3.12 - Fluxograma da fragilidade ambiental do meio físico

O Equacionamento da fragilidade do bloco meio físico pode ser observado pela Equação 3.9:

$$\text{Bloco Meio Físico} = (P1 * \text{AspGeo/Mor}) + (P2 * \text{AspContH2O}) + (P3 * \text{AspEstEnc}) + (P4 * \text{AspRiEn}) + (P5 * \text{AspFrEr}) \quad \text{Eq. 3.9}$$

PI: Todos os aspectos temáticos possuem a mesma importância (PI=0,20).

AspGeo/Mor = Aspecto Temático Geologia/Morfologia

AspContH2O = Aspecto Temático Contaminação das Águas

AspEstEnc = Aspecto Temático Estabilidade de Encosta

AspRiEn = Aspecto Temático Risco de Enchente

AspFrEr = Aspecto Temático Fragilidade à erosão

Nesta fase, questiona-se: “há necessidade de todas as variáveis para determinar o índice de fragilidade do bloco temático” (?). Na variação dos valores percentuais por aspecto temático “quais as áreas de menor fragilidade ambiental” (?). As áreas de menor fragilidade ambiental desse bloco temático indicam ser as menos frágeis para expansão urbana e, portanto, “são as mais indicadas para ocupação urbana” (?). Para esclarecer estas indagações realizou-se ensaios de sensibilidade neste bloco temático. Para os ensaios de sensibilidade as variáveis receberam valores alternadamente e, posteriormente, algumas variáveis, aspectos temáticos e blocos receberam valores maiores, em virtude de grau de discriminância apresentados após o ensaio de sensibilidade, tornando possível o ajuste do modelo.

3.4.2 Bloco meio biótico

Os aspectos temáticos referentes a este bloco correspondem: a Flora e Fauna Terrestre e as Áreas de Preservação Permanente (Quadro 3.2). As Unidades de Conservação⁵ também devem ser consideradas nos estudos.

⁵ Esta variável é importante na representatividade de uma bacia hidrográfica urbana. Porém, na bacia hidrográfica em estudo não teve a presença de unidades de conservação Integral, quanto a remanescentes de quilombolas e áreas indígenas. Desta forma, seu mapeamento não foi necessário, mas cabe ressaltar sua importância para bacias urbanas

Quadro 3.2 - Aspectos temáticos, variáveis e atributos do meio biótico.

Aspectos temáticos	Variáveis associadas; Fatores (notas de 0 à 225) mínima à máxima fragilidade ambiental; Restrições (notas, 0 e 1).	Atributos Quanto a importância
Fauna e Flora Terrestre	Ocorrência potencial de fauna Terrestre; Ocorrência potencial de flora terrestre.	Identificar áreas mais frágeis
Áreas de Preservação Permanente	Localização de áreas de preservação permanente	Áreas restritivas á expansão urbana

A avaliação conjunta das variáveis teve como resultado o mapa síntese das fragilidades por aspecto temático e sua integração resultou na síntese do mapa de fragilidades deste bloco temático (Figura 3.13).

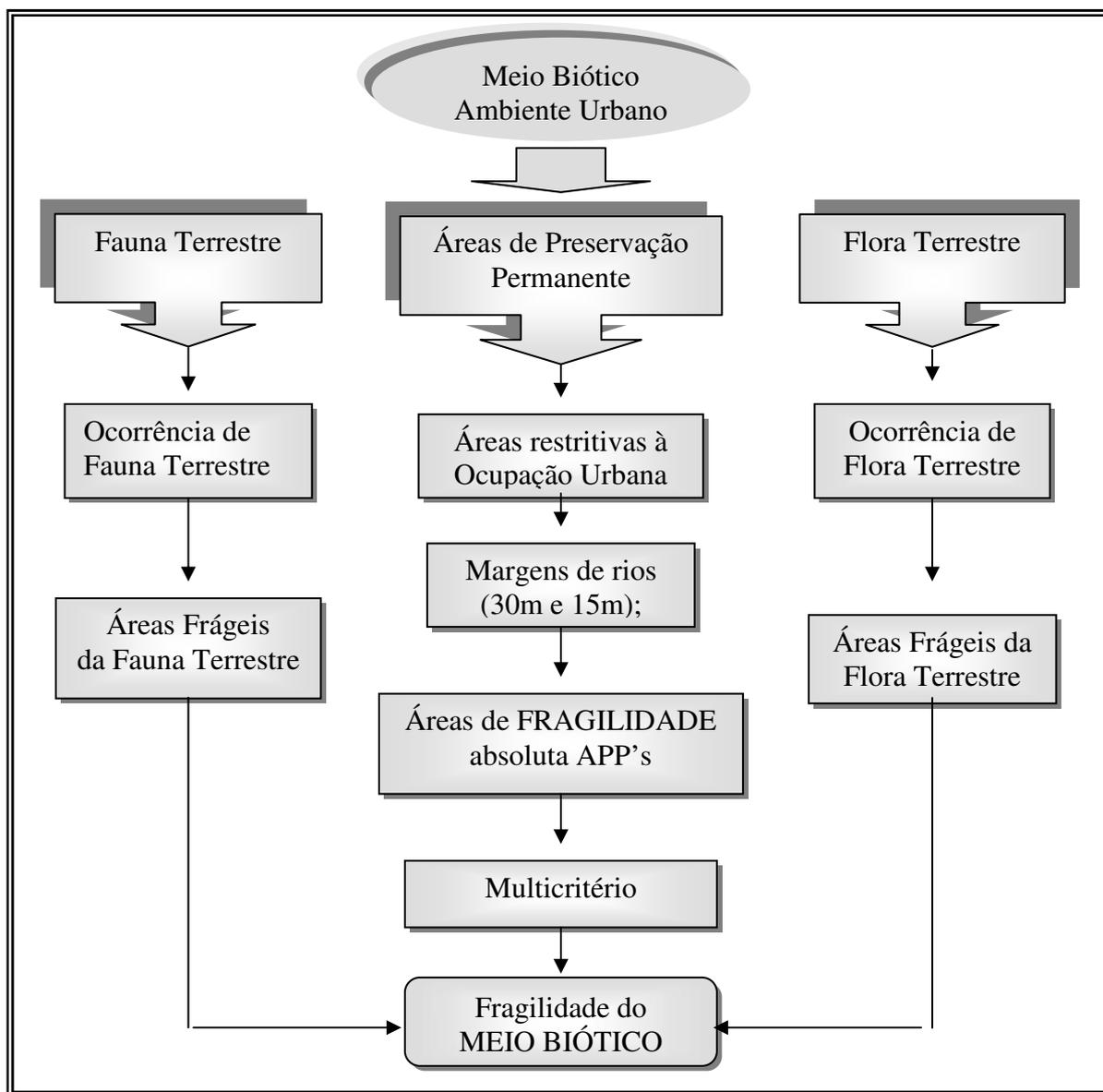


Figura 3.13 - Fluxograma metodológico do meio biótico em ambiente urbano

3.4.2.1 Aspecto temático fauna e flora terrestre

Para determinar a fragilidade ambiental quanto à flora e fauna terrestre foram selecionadas as variáveis: ocorrência potencial da fauna terrestre e ocorrência potencial da flora terrestre (Figura 3.10).

3.4.2.1.1 Ocorrência potencial da fauna terrestre

O reconhecimento e as considerações sobre a distribuição geográfica e história natural das espécies da fauna foram obtidos através da avaliação de ocorrência na bacia hidrográfica do Arroio Capivara, a partir do levantamento bibliográfico, as quais identificadas e analisadas tiveram como fontes (MENEGAT, *et al.*, 2006; DUNNING, 1993; EFE, *et al.*, 2001; LEMA, 2002; OLMOS, 2007; SILVA, 1994) (Figura 3.14).

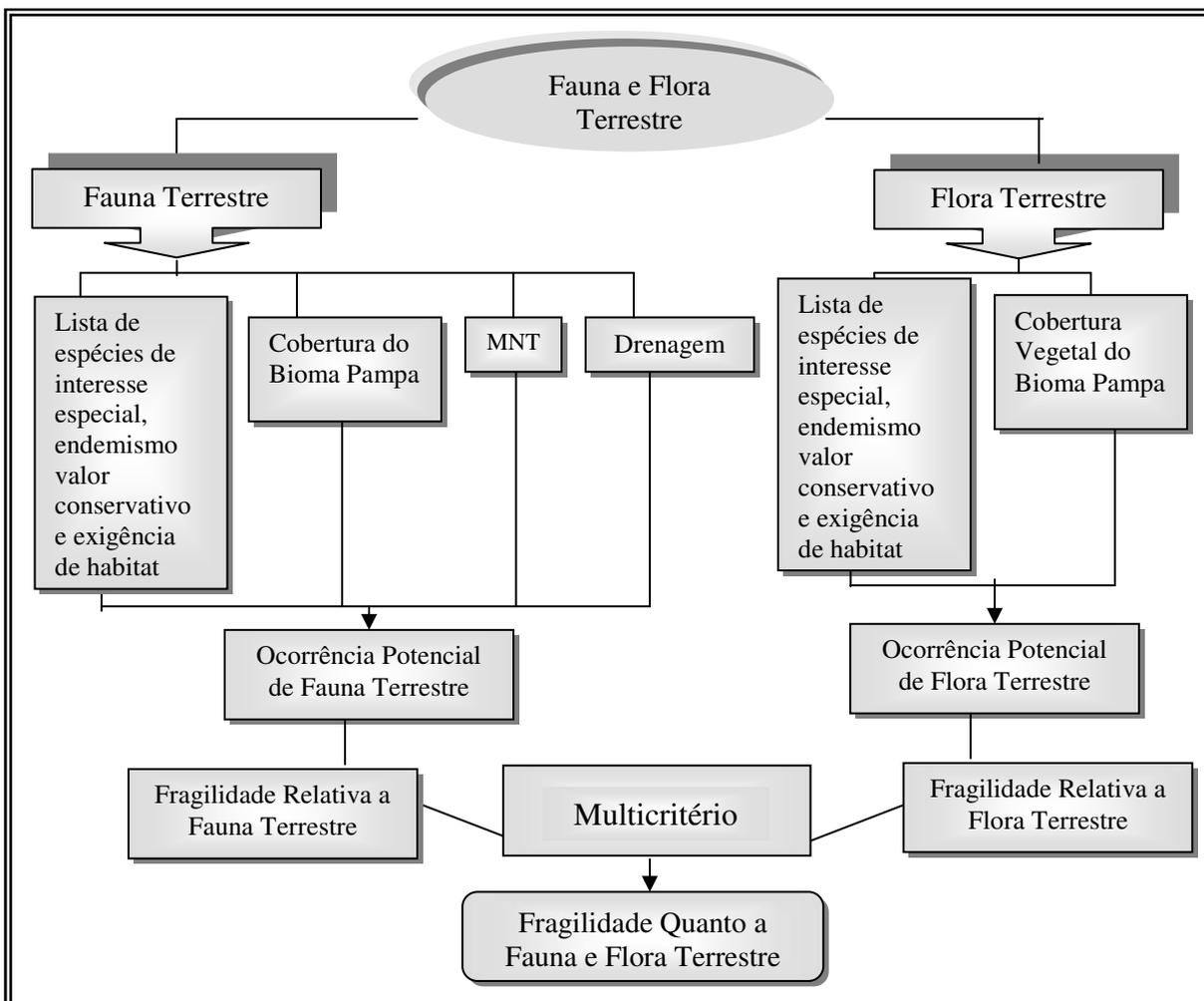


Figura 3.14 - Fluxograma do aspecto temático fauna e flora terrestre e suas variáveis

Fonte: Adaptado de MMA, 2009.

Posteriormente, com base na listagem gerada e organizada em planilhas eletrônicas realizou-se a síntese das informações, mapeamento e a pontuação de acordo com o valor conservativo (menor a maior fragilidade ambiental). A partir das informações efetuou-se o mapeamento do habitat potencial de cada espécie, segundo a escala de estudo e a disponibilidade de mapas para a sobreposição das informações. Para modelar o habitat potencial das espécies, utilizou-se o MNT (para determinar as faixas de altitude), a drenagem da bacia hidrográfica e a proximidade dos cursos d'água. Após a elaboração dos mapas booleanos de todos os habitats, efetuou-se a soma destes para compor o mapa final.

O mapa síntese foi obtido através da soma dos mapas booleanos, o qual foi re-escalado para o intervalo de valores de 0 a 255, representando as áreas de maior e menor fragilidade, proporcionais ao valor conservativo dos habitats para a fauna ameaçada de extinção. A lista das espécies da fauna terrestre, consideradas no mapeamento de habitat potencial encontra-se em ANEXO D.

a) Avaliação da fragilidade

As fragilidades foram atribuídas de acordo com a tabela 3.15, obedecendo aos critérios de endemismo das espécies e status de conservação. Desta forma, cada espécie recebeu um valor de fragilidade que foi atribuído ao respectivo habitat. O valor apresentado em cada pixel representa a soma total das fragilidades das espécies.

Tabela 3.15 – Fragilidades das espécies da fauna terrestre ameaçada de extinção

Fauna terrestre Status de conservação	Valores atribuídos Não endêmicas
Criticamente em Perigo - Ameaçadas de extinção	250 (> fragilidade)
Em perigo (raras)	115
Vulnerável (Não ameaçadas)	50 (< fragilidade)

3.4.2.1.2 Ocorrência potencial da flora terrestre

A distribuição geográfica das espécies da flora ameaçadas, no âmbito da bacia, também foi obtida a partir do levantamento bibliográfico. Para a listagem das espécies ameaçadas de extinção foram consultadas as listas oficiais brasileiras junto ao Ministério do Meio Ambiente – MMA (2009), Secretaria da Agricultura BRASIL (1983) SUDESUL (1978) Lindman e Ferri (1974); Leite e Klein (1990).

A listagem foi organizada em planilha Excel para a síntese das informações consideradas relevantes e o posterior mapeamento e pontuação referente ao valor conservativo. As espécies de floresta foram identificadas e analisadas com o auxílio do Atlas

Ambiental de Porto Alegre - Menegat *et al.*, (2006), Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre - Hasenack, *et al.*, (2008) e Relatório de Impacto Ambiental – RIA, (Implantação do Interceptor de Esgotos) do Arroio Capivara, 2004. Para cada espécie, buscaram-se informações na literatura que permitiram a identificação da sua ocorrência e de descritores do habitat. A lista das espécies de interesse especial da flora, consideradas no mapeamento de habitat potencial encontra-se em ANEXO E.

a) Avaliação da fragilidade

A base de informações para modelar o habitat potencial das espécies florestais foi extraída do mapa de cobertura vegetal do Bioma Pampa (MMA, 2009). O valor conservativo da formação florestal foi obtido pela soma dos valores conservativos das espécies que ocorreram na mesma formação (MMA, 2009). Como resultado obteve-se a elaboração de um mapa com o valor conservativo de cada área de ocorrência de remanescentes da formação vegetal.

Posteriormente, atribuiu-se as fragilidades por formação florestal conforme tabela 3.16, este valor foi re-escalado inversamente para escala de 0-255, representando às áreas de maior a menor fragilidade ambiental.

Tabela 3.16 – Fragilidades das espécies da flora terrestre ameaçada de extinção

Flora terrestre	Não endêmica	Endêmicas
Status de conservação	Valores atribuídos	Valores atribuídos
Em Perigo	115	229 (> fragilidade)
Vulnerável	64	178
Sem Status de Conservação	1 (< fragilidade)	115

Aspecto temático fauna e flora terrestre

O mapa síntese deste aspecto temático resultou da modelagem multicritério, associando-se os pesos aos mapas de ocorrência potencial (Equação 3.10).

$$\text{Mapa Aspecto Temático} = (P1 * M\text{fragOPFaT}) + (P2 * M\text{fragOPFIT}) \quad \text{Eq. 3.10}$$

PI = Mesma importância (PI=0,50).

MfragOPFaT = Mapa de Fragilidade de Ocorrência de Fauna Terrestre;

MfragOPFIT = Mapa de Fragilidade de Ocorrência de Flora Terrestre

3.4.2.2 Aspecto temático áreas de preservação permanente (APPs)

A delimitação das áreas de preservação permanente foi efetuada de acordo com o Código Florestal Federal (Lei N° 4.771; BRASIL, 1965). O Art. 2º determina a preservação

das coberturas florestais e demais formas de vegetação naturais situadas ao longo dos cursos d'água. Pelo fato da bacia hidrográfica do Arroio Capivara obter uma largura inferior a 10 metros, a preservação da cobertura florestal deve ser de 30 metros em ambos os lados.

Foi gerado um buffer de 30 metros no entorno da rede hidrográfica por meio da execução operacional “temático-mapa de distância”.

Considerando, também, o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre, considerou-se que nas áreas que possuem declividade superior a 30% não pode haver expansão urbana. Deste modo, atribuiu-se valor zero para as áreas com declividade superior a 30% e valor um para as demais.

3.4.2.3 Fragilidades do meio biótico

A integração dos aspectos temáticos resultou na síntese da fragilidade do meio biótico (Figura 3.15).

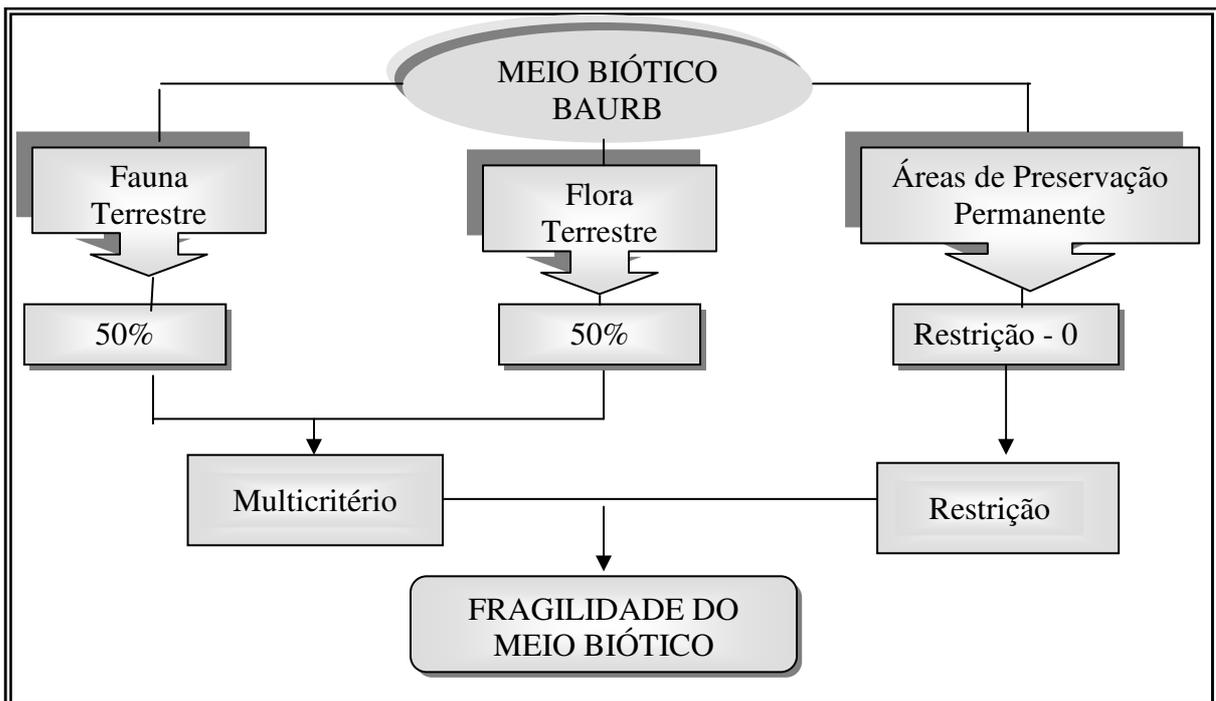


Figura 3.15 - Fluxograma da fragilidade ambiental do meio biótico

O Equacionamento para determinar a fragilidade ambiental do bloco meio Biótico corresponde (Equação 3.12):

$$\text{Bloco Meio Biótico} = (P1 * \text{AspFI/FaT}) + (P2 * \text{AspAPPs}) \quad \text{Eq.3.12}$$

PI: 0,5

AspFI/FaT = Aspecto Temático Flora e Fauna Terrestre;

AspAPPs = Aspecto Temático Áreas de Preservação Permanente;

3.4.3 Bloco meio antrópico

Foram selecionadas variáveis que identificam e caracterizam as fragilidades ambientais antrópicas no ambiente urbano. As principais variáveis que correspondem a este bloco temático são: concentração ou índice de urbanização; infra-estrutura urbana e conflito de uso e ocupação do solo (Quadro 3.3).

Quadro 3.3 – Aspectos temáticos, variáveis e atributos do meio antrópico

Aspectos temáticos	Variáveis associadas Fatores (notas de 0 à 255) mínima à máxima fragilidade ambiental.	Atributos Quanto a importância
Concentração ou Índice de urbanização	Concentração espacial urbana ou índice de impermeabilidade do solo	Avaliação das áreas de impermeabilidade urbana
Infra-estrutura Urbana	Malha viária.	Avaliação da interferência sobre a infra-estrutura
Conflito de uso e ocupação do solo	Áreas de preservação permanente X Uso e ocupação do solo.	Identificar áreas mais frágeis

A apresentação metodológica teve como resultado o mapa de fragilidade do conjunto das variáveis mapeadas, resultando no mapa síntese deste bloco temático (Figura 3.16).

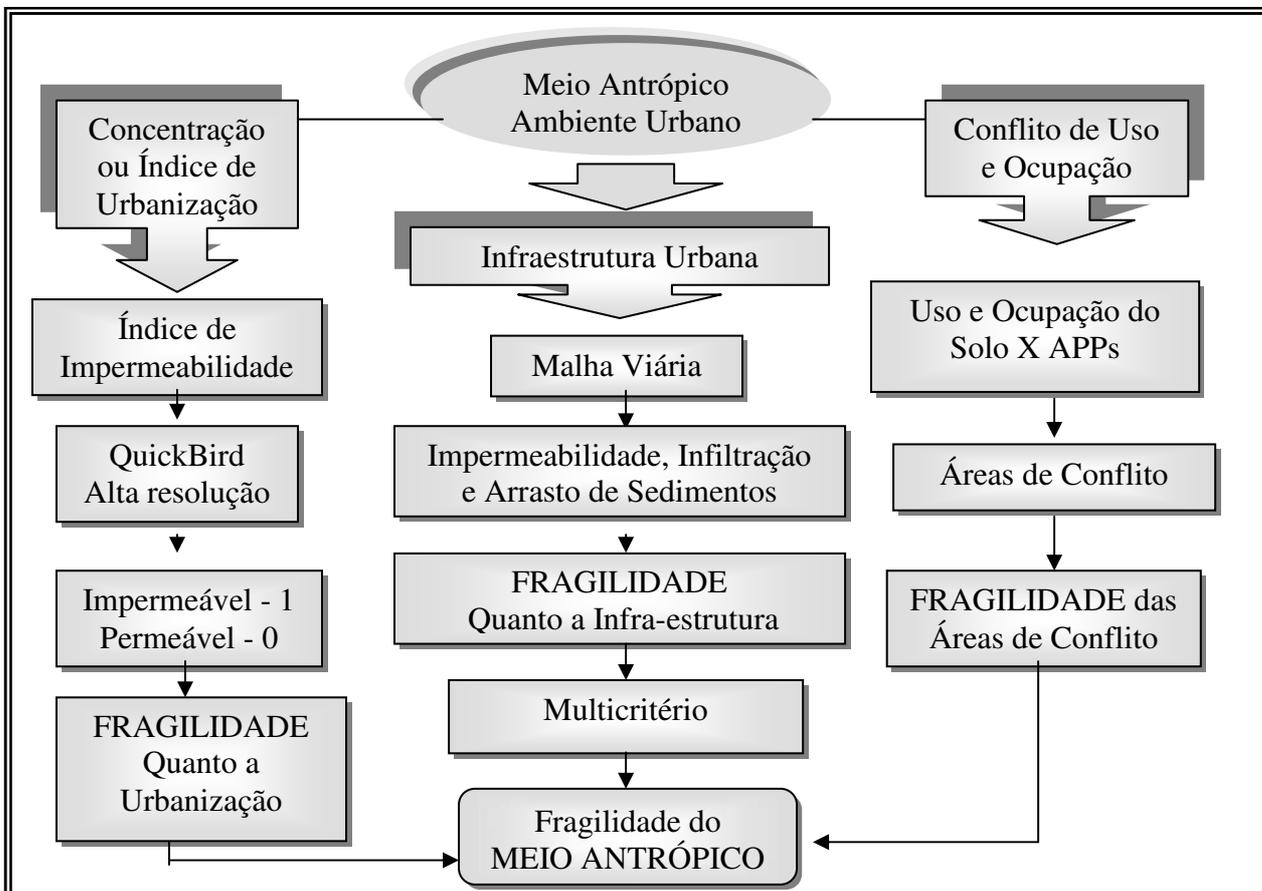


Figura 3.16 - Fluxograma metodológico do meio antrópico em ambiente urbano

3.4.3.1 Aspecto temático concentração urbana ou índice de urbanização

Os procedimentos adotados para a elaboração do mapa de fragilidades deste aspecto temático foram os mesmos do aspecto temático índice de impermeabilidade 3.4.1.4.4 da página 60. A delimitação das classes de usos seguiu a metodologia definida (REIS *et al.*, 2011). Quanto maior a concentração urbana da sub-bacia, maior o índice de impermeabilidade do solo e maior a pressão sobre os recursos naturais.

a) Avaliação da fragilidade

Para a avaliação das fragilidades considerou-se a presença de área impermeável em cada sub-bacia. Para as sub-bacias de maior impermeabilidade, ou seja, mais frágeis as notas atribuídas foram maiores (Tabela 3.17).

Tabela 3.17 – Índice de impermeabilidade das sub-bacias e as fragilidades atribuídas

Sub-Bacias	Índice de impermeabilidade (%)	Valores de Fragilidade
B1	73,05	186
B2	87,00	222
B3	100	255
B4	79,63	203
B5	66,76	170
B6	69,79	177
B7	58,86	150
B8	46,32	118
B9	60,00	153
B10	8,48	20
B11	69,01	176
B12	21,74	55
B13	65,83	167
B14	62,74	160
B15	33,67	85
B16	13,44	34
B17	20,66	52
B18	20,00	51
B19	5,00	14
B20	9,40	24
B21	3,33	8
B22	4,42	11
B23	17,78	45
B24	8,49	21
B25	1,15	0
B26	31,03	79

3.4.3.2 Aspecto temático infra-estrutura urbana - malha viária

A construção de vias urbanas provoca modificações sobre a paisagem natural decorrente da eliminação de fauna e flora (destruição de recursos naturais) por equipamentos de infra-estrutura, e geralmente resultam na impermeabilização do solo urbano. Para tanto, as pontuações se diferem segundo os tipos de vias urbanas, tendo em vista, que uma via não asfaltada não apresenta os mesmos impactos que uma via asfaltada.

As vias urbanas apresentam impactos variados, podendo se diferenciar a partir do grau de impermeabilização, infiltração e arrasto de sedimentos. Quanto maior o grau de impermeabilização de uma rodovia, menor a infiltração e maior o escoamento superficial e, conseqüentemente, maior a fragilidade ambiental. Por outro lado, estradas providas de solo exposto facilitam a infiltração da água no solo, podendo facilitar o carreamento de sedimentos para a bacia hidrográfica do Arroio Capivara, o qual passa a ser receptor dos sedimentos, tornando-se ambientalmente mais frágil. Outro elemento também considerado foi o índice de trafegabilidade das vias não asfaltadas.

a) Avaliação da fragilidade

A definição do índice de fragilidade, nesta variável, depende dos tipos de vias, podendo ser mais susceptíveis ou não a impacto negativo. Tanto os causados pela presença de sedimentos no leito do Arroio, como aqueles destrutivos da fauna e flora. As notas mais elevadas foram atribuídas para as áreas de maior impacto ambiental e as menores para as menos susceptíveis a impactos negativos.

A classificação dos tipos de vias foram as seguintes: vias pavimentadas, vias não pavimentadas locais (baixa trafegabilidade), vias não pavimentadas secundárias (média trafegabilidade) considerando também, o grau de trafegabilidade. Seguem os tipos de vias e suas respectivas fragilidades (Tabela 3.18).

Tabela 3.18 – Malha viária e as respectivas fragilidades

Malha viária	Valores atribuídos
Vias Pavimentadas arteriais	255 (> fragilidade)
Vias não Pavimentadas Coletoras	175
Vias não Pavimentadas Locais	50 (< fragilidade)

As vias locais promovem a distribuição do tráfego local, apresentando baixa fluidez de tráfego, alta acessibilidade, caracterizando-se pela intensa integração com o uso e ocupação do solo.

Vias Coletoras ou Intermediárias recebem e distribuem o tráfego entre as vias locais e pavimentadas, apresentando equilíbrio entre fluidez de tráfego e acessibilidade, possibilitando sua integração com o uso e ocupação do solo, e são próprias para a operação de sistemas de transporte coletivo, compartilhado com o tráfego geral e apresentam uma trafegabilidade maior que as vias locais.

As vias pavimentadas correspondem às vias asfaltadas, que apresentam a maior impermeabilidade e a maior trafegabilidade entre as vias da área de estudo.

3.4.3.3 Aspecto temático conflito de uso e ocupação do solo

3.4.3.3.1 Áreas de preservação permanente

Nesta etapa foram identificados os potenciais conflitos na área de estudo, baseado no Código Florestal Federal, BRASIL (1965). Os potenciais conflitos devem ser entendidos como os usos inadequados nas áreas de preservação ambiental. As áreas em conflito com o Código Florestal Federal, BRASIL (1965) constituem áreas de restrição para expansão urbana e licenciamentos ambientais.

No mapa considera-se uma área passível e outra não para expansão urbana. Para tanto, são consideradas restrições às declividades iguais e superiores a 30%, assim como, 30 metros de preservação em ambos os lados do entorno dos cursos de água da bacia hidrográfica do Arroio Capivara (Tabela 3.19).

Tabela 3.19 – Áreas de preservação permanente e os valores atribuídos

Preservação permanente	Valores atribuídos
Igual ou superior a 30%	0 – restrição
Ambos os lados 30 metros	0 – restrição
Restante da área da bacia	1 - sem restrição

3.4.3.3.2 Uso e ocupação do solo

Os procedimentos técnicos e operacionais para a identificação das formas de uso e ocupação do solo urbano foram processadas com auxílio da imagem digital Quickbird e sua execução no programa do ArcGIS 9.3.3.

As bandas utilizadas neste levantamento foram as que melhor identificaram os limites entre solo e água, atribuiu-se falsa cor, facilitando a interpretação dos usos. As classes de uso e ocupação do solo foram estabelecidas, tendo como referencial Hasenack *et al.*, (2008).

Os tipos de usos e ocupação do solo da área de estudo e sua descrição estão descritas na tabela 3.20.

Tabela 3.20 – Tipos de uso e ocupação do solo segundo sua descrição

Uso e ocupação do solo	Descrição
Solo exposto:	Áreas antropizadas, com solo sem cobertura vegetal. (aterros, obras de terraplenagem, mineração etc.).
Vias:	Inclui todas as vias e áreas pavimentadas com largura significativa em relação ao entorno, possíveis de individualizar na escala do mapeamento
Afloramento rochoso:	área com presença e rocha exposta
Comercial industrial e serviços urbanos	Área com ocupação predominantemente por edifícios individuais ou blocos de edifícios de quatro ou mais pavimentos
Comercial industrial e serviços rurais	Edificações rurais diversas: edificações e instalações rurais em geral (casas, silos, galpões, pocilgas, aviários, estábulos, etc).
Residencial edifícios	Área com ocupação predominantemente por edifícios individuais ou blocos de edifícios de quatro ou mais pavimentos
Residencial edifícios e casas	Áreas com ocupação predominantemente residencial, com proporção equivalente de casas e edifícios, sendo estes geralmente de pequeno porte. Estas áreas representam setores em fase de adensamento, com as casas sendo gradualmente substituídos por edifícios
Residencial casas	Áreas com ocupação predominantemente de casas em loteamentos. O desenho urbano é variado, mas o arruamento é regular, embora os terrenos tenham tamanho bastante variável. Contém na fase totalidade, residências unifamiliares. Incluem também conjuntos residenciais unifamiliares.
Lavoura sazonal	cultivo de espécies anuais (milho, arroz, por exemplo) ou olerícolas.
Lavoura perene	cultivo de espécies perenes, especialmente pomares.
Campo	Constitui uma formação herbácea composta principalmente por gramíneas e que apresentem baixa pressão antrópica. Pode conter elementos arbustivos no estágio inicial de sucessão, situação esta também conhecido como campo sujo. Inclui os campos de várzea e os campos rupestres
Mata degradada	É uma formação arbórea composta predominantemente por espécies nativas e que se verifica algum grau de degradação, como a presença de trilhas, voçorocas, desmatamentos, depósitos de rejeito, e outros. Esta formação tem potencial de recuperação se os fatores de degradação cessarem
Arbustivo - transição campo	Formação arbóreo-arbustiva composta por mata com presença de campo.

Arbustivo - transição mata	Formação arbóreo-arbustiva composta por mata em estágio intermediário de sucessão, com predomínio do estrato arbustivo e presença de elementos arbóreos isolados.
Silvicultura	cultivo de espécies lenhosas exóticas, (pínus, eucalipto, acácia).
Bosque	É uma formação arbórea do tipo parque caracterizada por um dossel contínuo com estratos inferiores descaracterizados ou ausentes. Esta classe é típica de áreas submetidas a pastejo ou utilizadas para lazer em parques e praças
Mata nativa com exóticas	Inclui matas em estágio sucessional avançado, mas com presença de espécies exóticas (pinus, eucalipto, acácia etc) o que indica alguma interferência antrópica
Água	Inclui diversos corpos d'água com largura significativa na escala de mapeamento (arroyos, açudes, barragens, etc).
Mata nativa	Esta formação arbórea é composta por espécies nativas, sem alteração significativa nos estratos inferiores e em bom estado de conservação.

Fonte: adaptado de Hasenack *et al.*, (2008).

Posteriormente, atribuiu-se notas aos diferentes usos e ocupação do solo. Para os usos e ocupações mais frágeis as notas atribuídas foram maiores e os usos menos frágeis notas menores. Para a hierarquização das fragilidades atribuiu-se as notas em bytes de 0 a 255.

a) Avaliação da fragilidade

As notas da fragilidade foram atribuídas levando em consideração o índice de impermeabilidade, carreamento de sedimentos para o Arroio e presença de vegetação (Tabela 3.21).

Tabela 3.21 – Uso e ocupação do solo e suas fragilidades

Uso e Ocupação do Solo	Valores Atribuídos Fragilidades
Solo exposto	255
Vias	230
Afloramento rochoso	200
Comercial Industrial e serviços urbanos	185
Comercial industrial e serviços rurais	175
Residencial edifícios	160
Residencial edifícios e casas	150
Residencial casas	140
Lavoura sazonal	125
Lavoura perene	60
Campo	50
Mata degradada	43
Arbustivo - transição campo	38
Arbustivo - transição mata	30
Silvicultura	25
Bosque	18
Mata nativa com exóticas	10
Água	0
Mata nativa	0

Aspecto temático conflito de uso e ocupação do solo em APP

Para o conflito de uso e ocupação do solo realizou-se o cruzamento dos mapas de preservação permanente e uso e ocupação do solo. O mapa de conflito representa a área atualmente em conflito com os diferentes tipos de uso e ocupação do solo, ou seja, onde há construção de moradias, agricultura ou qualquer outro tipo de uso que não atenda as exigências das normas legais, tanto nos 30 metros indicados como áreas de preservação permanente, como nas declividades superiores a 30%.

Estes dois fatores determinaram os conflitos na bacia hidrográfica (segundo o Código Florestal Federal (1965) e o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre, 2000). O mapa síntese resultou do cruzamento dos tipos de usos e das APPs conforme Equação 3.10.

$$\text{Mapa Aspecto Temático} = (P1 * MfragAPPs) + (P2 * MfragUsoOc) \quad \text{Eq. 3.13}$$

PI: P1= 0,5; P2 =0,50;

PI = Peso Inicial;

Mfrag= Mapa de fragilidade

APPs =Áreas de Preservação Permanente;

UsoOc = Uso e Ocupação.

3.4.3.4 Fragilidades do meio antrópico

A integração dos dados do meio antrópico permitiu sintetizar a fragilidade ambiental do conjunto de variáveis e dos aspectos temáticos indicando as áreas menos ou mais frágeis na bacia hidrográfica (Figura 3.17).

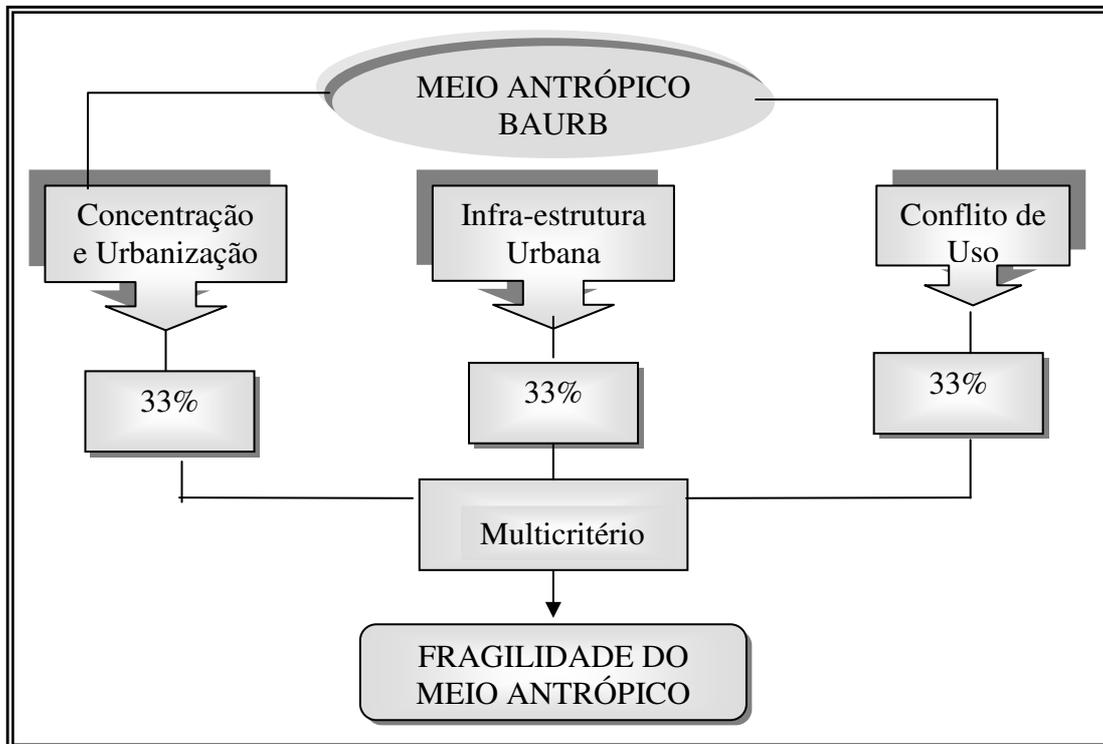


Figura 3.17 - Fluxograma da fragilidade ambiental do meio antrópico

O equacionamento para determinar o índice de fragilidade ambiental do bloco meio antrópico foi obtido pela equação 3.14:

$$\text{Bloco Meio Físico} = (P1 * \text{AspCU}) + (P2 * \text{AspINFEU}) + (P3 * \text{AspCUOS}) \quad \text{Eq. 3.14}$$

PI: P1=0,333; P2=0,333; P3=0,333.

PI: Pesos iguais.

AspCU = Aspecto Temático Concentração Urbano;

AspINFEU = Aspecto Temático Infraestrutura Urbana;

AspCUOS = Aspecto Temático Conflito de Uso e Ocupação do Solo.

Para os ensaios de sensibilidade dos blocos temáticos, os aspectos temáticos receberam valores alternadamente, onde as áreas de menor fragilidade ambiental indicam ser as menos frágeis para expansão urbana e licenciamento ambiental.

3.5 Abordagem metodológica integrada dos blocos temáticos, cenários, ensaios de sensibilidade e análise de consistência

Nesta etapa, a metodologia consiste na combinação da análise multicritério dos mapas dos meios físico, biótico e antrópico (blocos temáticos). Esta avaliação permitiu determinar o Índice de Fragilidade Ambiental para Expansão Urbana (IFA – EURB) e licenciamentos ambientais. As áreas de menor fragilidade ambiental para expansão urbana foram obtidas pelo cruzamento do mapa produto das fragilidades ambientais dos blocos temáticos (Tabela 3.22). O procedimento foi realizado no sistema de informações geográficas, através da combinação linear ponderada, utilizando o módulo “Calculadora de Mapas” (Spatial analysis – Raster calculator).

Tabela 3.22 - Índice de fragilidade ambiental para expansão urbana.

Valor ambiental	Classificação
255 - 200	Extrema fragilidade ambiental
200 - 140	Alta fragilidade ambiental
140 - 80	Média fragilidade ambiental
80 - 0	Baixa fragilidade ambiental ⁶

A operação resultou na apresentação do valor ambiental das áreas para expansão urbana e licenciamentos ambientais.

3.5.1 Cenários

A projeção de cenários baseou-se na análise de situações ambientais prováveis em termos da evolução do ambiente, onde cada situação corresponde a um cenário e/ou da situação hipotética, referente à situação diferenciada gerada por proposição de alternativas de projetos e programas. Esta atividade teve como objetivo subsidiar as autoridades governamentais, com base em indicadores e tendências prováveis. As variáveis analisadas têm influência na determinação dos estados futuros do sistema⁷ ambiental da área de estudo (ALMEIDA e BASTOS, 2007).

Os cenários gerados levaram em consideração os dados estimados por unidade censitária pelo modelo, os dados estimados para as águas superficiais e os dados medidos em campo, sendo geradas três versões de Cenários Atuais.

⁶ Caracteriza-se ambientalmente na área mais favorável para expansão urbana e licenciamentos ambientais.

⁷ Sistema é um conjunto de unidades com relações entre si. Essas unidades possuem propriedades em comum. (Almeida e Tertuliano, 2000).

Cenário atual do modelo: refere-se à situação atual da bacia hidrográfica do arroio Capivara com base nos dados estimados por unidade censitária.

Cenários especiais utilizados para análise de consistência: refere-se à situação atual da bacia hidrográfica a partir das bacias de contribuição na bacia hidrográfica do arroio Capivara.

- Cenário atual de dados estimados: refere-se ao cenário, onde os dados da qualidade da água foram estimados para a Carga Orgânica remanescente da População e engloba toda a área de estudo.

- Cenário atual de dados medidos: referem-se ao cenário, cujos dados da qualidade da água foram medidos em campo e laboratório caracterizando-se no quadro real da área de estudo. O que difere os dois cenários é os dados das águas superficiais.

Cenário conservativo ou ideal: este cenário atende os requisitos legais (Código Florestal Federal, Uso e Parcelamento do solo Urbano e Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre).

Cenário de recuperação urbana: identifica as áreas mais frágeis e em conflito definindo estratégias e estabelecendo ordens de prioridade para o início da recuperação destas áreas.

3.5.2 Ensaio de sensibilidade

O conceito de sensibilidade, neste estudo, leva em consideração as diferenças entre os mapas resultantes de processamento da avaliação multicritério, variando um peso de um fator ou variável mantendo os demais iguais. Para tanto, adotou-se como base o conceito de sensibilidade, de Trevisan (2008) que considera as diferenças entre os mapas resultantes de processamento da avaliação multicritério quando se faz a variação do peso de um fator mantendo-se os demais iguais.

Os ensaios de sensibilidade referem-se aos produtos da composição das variáveis com as diferentes ponderações atribuídas aos mapas por aspecto temático e bloco temático, em outras palavras, variou-se sistematicamente os pesos, obtendo-se desta forma cenários diferenciados.

Para demonstração didática adotou-se, como exemplo, o aspecto temático Geologia/morfologia. Na variável ou fator declividade mantiveram-se homogêneas todas as demais variáveis alternando somente a variável declividade, posteriormente, mantiveram-se homogêneas as demais variáveis e alterou-se a variável morfologia. Seguindo o raciocínio, alterou-se a variável geologia e mantiveram-se as demais variáveis homogêneas, por fim

mantiveram-se homogêneas as demais variáveis e alterou-se a variável água subterrânea (Tabela 3.23).

Tabela 3.23 – Exemplo dos pesos utilizados no ensaio de sensibilidade do aspecto temático geologia/ morfologia na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS

Aspecto temático	Pesos iguais		Pesos diferente			
	Homogêneo	1	2	3	4	5
Geologia/morfologia	Homogêneo	1	2	3	4	5
Declividade	0,25	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
Morfologia	0,25	0,30	0,26	0,23	0,20	0,16
Geologia	0,25	0,30	0,27	0,23	0,20	0,17
Água Subterrânea	0,25	0,30	0,27	0,24	0,20	0,17
	Homogêneo	1	2	3	4	5
Declividade	0,25	0,30	0,26	0,23	0,20	0,16
Morfologia	0,25	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
Geologia	0,25	0,30	0,27	0,23	0,20	0,17
Água subterrânea	0,25	0,30	0,27	0,24	0,20	0,17
	Homogêneo	1	2	3	4	5
Declividade	0,25	0,30	0,26	0,23	0,20	0,16
Morfologia	0,25	0,30	0,27	0,23	0,20	0,17
Geologia	0,25	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
Água subterrânea	0,25	0,30	0,27	0,24	0,20	0,17
	Homogêneo	1	2	3	4	5
Declividade	0,25	0,30	0,26	0,23	0,20	0,16
Morfologia	0,25	0,30	0,27	0,23	0,20	0,17
Geologia	0,25	0,30	0,27	0,24	0,20	0,17
Água subterrânea	0,25	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50

A Tabela 3.23 exemplifica os pesos atribuídos para o aspecto temático geologia/morfologia, onde apresenta-se uma variação, enquanto os demais são mantidos com pesos iguais para cada etapa. Cabe ressaltar que os demais aspectos temáticos seguem a mesma lógica, inclusive para os blocos temáticos. Para tanto, foram elaborados modelos com pesos homogêneos para as variáveis e variando-se alternadamente os pesos das demais variáveis para verificar o nível de discriminância entre elas.

A partir dos aspectos, realizaram-se os ensaios de sensibilidade, obtidos pela correlação entre um cenário homogêneo, onde os pesos dos fatores são iguais e os demais cenários ponderados. Estes ensaios foram realizados para os aspectos temáticos do meio físico, uma vez que o nível de discriminância somente é perceptível a partir de três variáveis por aspecto temático e, posteriormente, foi avaliada a sensibilidade entre os blocos.

Os ensaios de sensibilidade dos blocos temáticos referem-se ao produto da composição com as diferentes ponderações atribuídas aos mapas de cada bloco temático. Para tanto, foram elaborados modelos com o vetor de *pesos iguais* para os *fatores* e, modelos em que

alternadamente foram atribuídos *pesos maiores* para os critérios bióticos, antrópicos e físicos. Os modelos foram gerados para os três blocos temáticos. E, de acordo com o primeiro modelo, utilizaram-se pesos iguais. No segundo modelo utilizaram-se pesos diferentes (Tabela 3.24).

Tabela 3.24 – Ensaio de sensibilidade dos blocos temáticos na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS

Blocos temáticos	Pesos iguais		Pesos diferentes			
	Homogêneo	1	2	3	4	5
Bloco físico	0,34	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
Bloco biótico	0,33	0,45	0,4	0,35	0,30	0,25
Bloco antrópico	0,33	0,45	0,4	0,35	0,30	0,25
	Homogêneo	1	2	3	4	5
Bloco físico	0,33	0,45	0,4	0,35	0,30	0,25
Bloco biótico	0,34	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
Bloco antrópico	0,33	0,45	0,4	0,35	0,30	0,25
	Homogêneo	1	2	3	4	5
Bloco físico	0,33	0,45	0,4	0,35	0,30	0,25
Bloco biótico	0,33	0,45	0,4	0,35	0,30	0,25
Bloco antrópico	0,34	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50

Portanto, a correlação adotada para análise de sensibilidade foi a de Pearson pelo programa ArcGIS 9.3.3. Esta correlação “é usada para determinar se há relacionamento entre duas variáveis. A presença de uma correlação pode conduzir a um método para estimar uma variável a partir de outra” (TREVISAN *et al.*, 2010).

Os dados obtidos nas correlações entre os cenários homogêneos e os demais foram tabulados em planilha do Excel e, posteriormente, gerados os gráficos para análise dos dados. Os gráficos permitiram a visualização do nível de discriminância entre as variáveis. Estes demonstram as variações correlacionais entre as variáveis ponderadas quando comparadas com sua ponderação homogênea.

No entanto, este método permite avaliar a sensibilidade dos cenários ponderados, tendo em vista que, quanto menor a correlação entre um cenário e o cenário homogêneo, mais discriminante ele é. Desta forma, a discriminância é relevante para auxiliar no reajuste dos pesos das variáveis auxiliando na tomada de decisão.

3.5.3 Análise de consistência

O mapa de fragilidade da Carga Orgânica Remanescente da População, estimado por unidade censitária IGBE (2001), possibilitou a elaboração do mapa da mesma variável, porém

por bacia de contribuição, para comparar os dados estimados pelo IBGE com os dados medidos a campo.

Para obter os valores das fragilidades das bacias contribuintes por ponto de coleta, utilizou-se a ferramenta Zonal Statistics do software ArcGIS 9.3.3. Este permitiu a soma de valores das células ocorrentes dentro do mesmo polígono ou zona, que neste estudo está sendo representado pelas bacias de contribuição de cada ponto de coleta de água, tanto para os valores medidos a campo, assim como para os valores estimados com base nos dados do IBGE. Os valores da soma representam o potencial de contaminação acumulada na bacia até o ponto de coleta, variando de 0 a 255 vezes o número total de células da bacia contribuinte.

As variáveis em análise referem-se à carga orgânica remanescente da população a partir de dados estimados e o carbono orgânico dissolvido por meio de dados medidos a campo. Esta comparação permite validar a variável estimada com o Carbono Orgânico Dissolvido e estimar o grau de contaminação da água superficial, avaliando a incerteza do modelo (Figura 3.18).

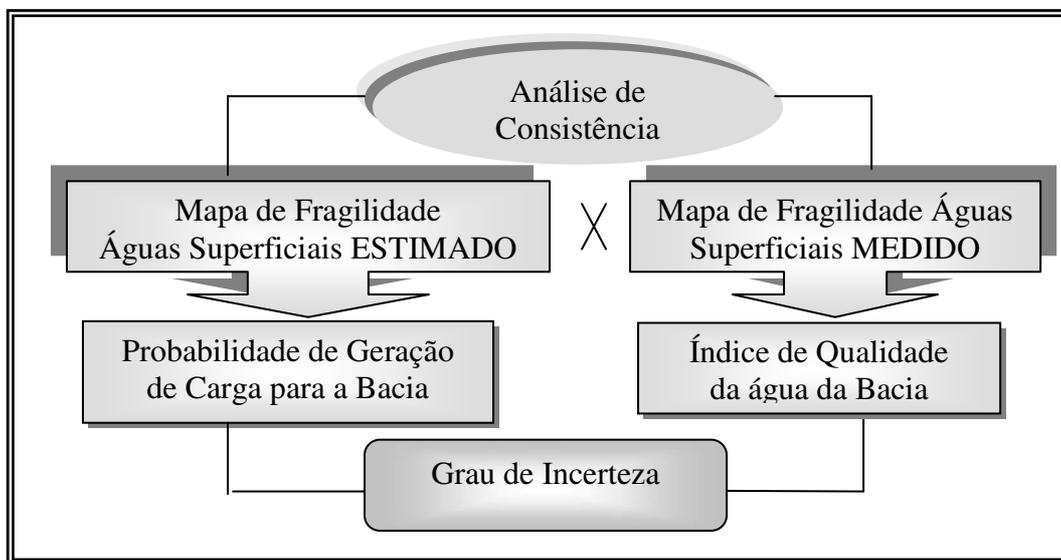


Figura 3.18 - Fluxograma da análise de consistência da variável estimada e medida das águas superficiais

Para análise do carbono orgânico dissolvido foram realizadas 22 campanhas quinzenais (jun/07 à agos/08). Os dados de carbono orgânico dissolvido foram obtidos por Marques e Silveira (2009). Os valores estimados da água superficial (carga orgânica remanescente da população) representam a estimativa de geração de cargas poluentes. Em contrapartida, as fragilidades do carbono orgânico dissolvido indicam o valor medido a campo representando a real situação “in loco”.

O mapa de fragilidade obtido pelo carbono orgânico dissolvido, valor medido quanto ao índice de qualidade da água, ao ser confrontado com o mapa da carga orgânica remanescente da população, (valores estimados) permitiu a avaliação do grau de incerteza da contaminação das águas superficiais por ser um forte indicador da qualidade da água indicando a quantidade de contaminantes dissolvidos na água.

Para agregar mais informação aos dados medidos, na última expedição a campo, além de validar as informações, realizou-se entrevistas com os moradores, coleta de água para análise da demanda química de oxigênio (DQO). A saída de campo foi conduzida por transporte fornecido pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS/IPH. O método utilizado para a análise da água foi Titulométrico com Refluxo Fechado (Standard Methods for the examination of water and wastewater). Posteriormente, determinou-se a fragilidade por bacia de contribuição seguindo o raciocínio de quanto maior a DQO maior a fragilidade da bacia de contribuição.

Em decorrência de alguns mapas obterem uma distribuição esparsa de pixels com o mesmo índice de fragilidade foi necessário efetuar o processo de flitragem para torná-los espacialmente mais homogêneos. Desse modo, utilizou-se do programa ArcGIS 10 para executar este processo.

4 CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DA PAISAGEM

...A produção de um espaço humanizado não é feita no ar. Muito ao contrário, campos cultivados, cidades e metrópoles, estabelecimentos industriais, rodovias e caminhos são implantados sobre um suporte territorial, ou seja, sobre um suporte físico e ecológico que possui uma compartimentação topográfica, projetando-se por um chão dotado de rochas alteradas, formações superficiais e um mosaico de solos. (AB'SABER, 1998, p. 34)

Neste capítulo, são apresentados os aspectos do meio físico, biótico e antrópico, por meio da caracterização e análise das variáveis indicadoras que elencaram este estudo. A caracterização permite individualizar o objeto de estudo, a partir das características naturais e modificadas do ambiente, procurando compreender e evidenciar uma sucessão de estados que variam entre situações de equilíbrio e não-equilíbrio resultando em diferentes paisagens, tornando viável a relação sociedade e natureza.

Para tanto, a caracterização e o processamento das variáveis indicadoras do meio físico, biótico e antrópico serviram de base para a definição das áreas de menor à maior fragilidade ambiental para expansão urbana e licenciamentos ambientais.

4.1 Características do meio físico

Os elementos abordados do meio físico correspondem ao solo, relevo, geologia, geomorfologia, as águas subterrâneas e águas superficiais da área de estudo. Para dar suporte a caracterização da área de estudo, o Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre de Hasenack *et al.*, (2008), assim como o Atlas Ambiental de Porto Alegre - Menegat, *et al.*, (2006), caracterizaram-se num referencial importante, tanto por fornecerem uma base cartográfica como teórica do meio físico.

4.1.1 Solo

O surgimento do solo está relacionado diretamente ao intemperismo das rochas da superfície terrestre que é provocado pela ação integradora de fatores como: o clima

(pluviometria, temperatura, radiação solar, umidade relativa e vento), os organismos (flora e fauna), os materiais de origem (rochas e depósitos sedimentares) e o relevo (fisiografia) (MENEGAT *et al.*, 2006).

Para sistematizar os solos da região de Porto Alegre, no Atlas Ambiental de Porto Alegre (Menegat *et al.*, 2006) foi adotado o sistema brasileiro de classificação de solos (1987). Esse sistema utiliza parâmetros como: a ocorrência e características dos horizontes, bem como volumes e diagnósticos quantitativamente significativos em superfície e/ou subsuperfície.

As unidades de mapeamento presentes na área de estudo foram agrupadas em quatro classes, tais como: associação de Cambissolos com Neossolos Litólicos ou Neossolos Regolíticos; associação de Planossolos Hidromórfico, Gleissolos Hápicos e Plintossolos Argilúvicos; associação de Argissolos Vermelhos ou Argissolos Vermelho-Amarelos com Cambissolos Háptico, e; grupo indiferenciado de Argissolos Vermelhos e Argissolos Vermelho-Amarelos (Figura 4.1).

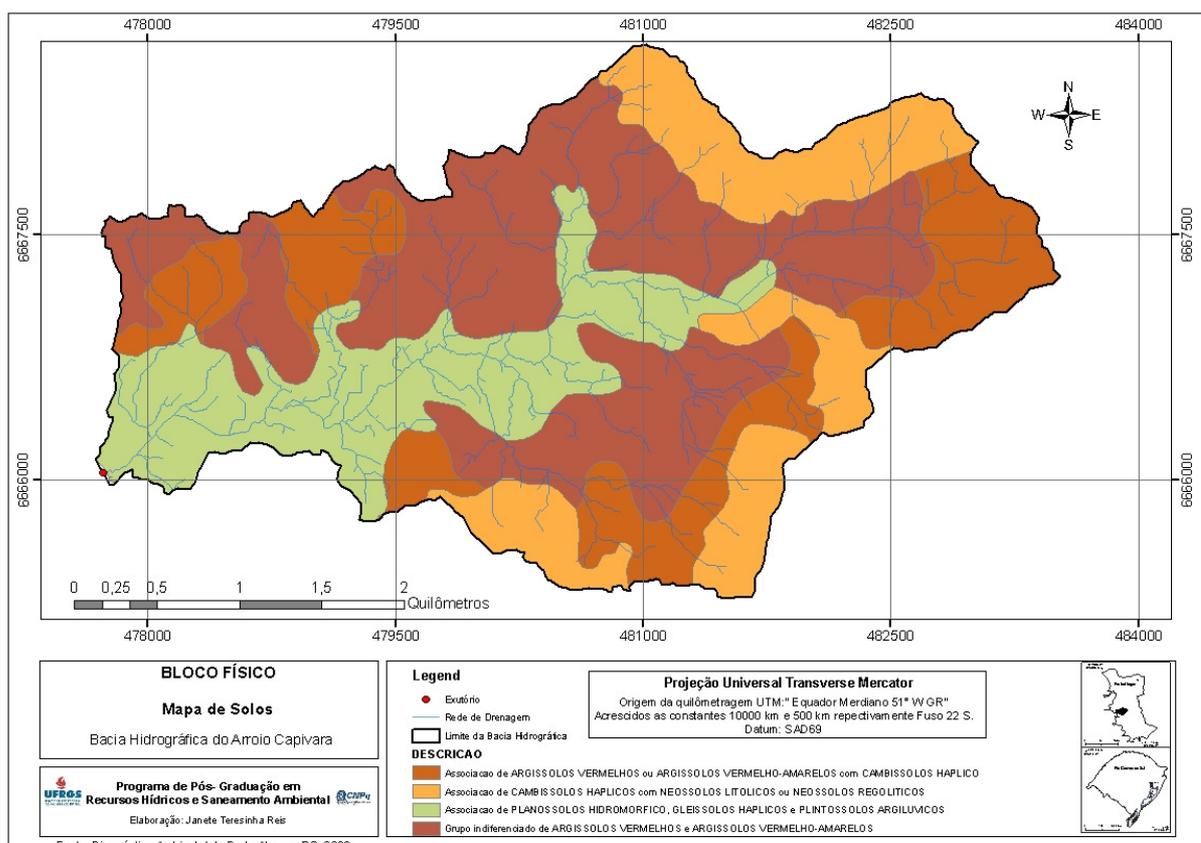


Figura 4.1 – Mapa de solos da área de estudo

Fonte: Hasenack, *et al.*, 2008

Os solos predominantes na bacia hidrográfica são rasos a medianamente profundos, constituído pela associação de cambissolos hápicos com neossolos litólicos ou neossolos

regolíticos. Esta unidade compreende 2.530 km² e ocorre em topo e encosta de morro, em relevo fortemente ondulados a montanhoso (Quadro 4.1).

Quadro 4.1 – Unidades de mapeamento dos solos na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS

Classe	Descrição	Área (km²)
CX	Associação de CAMBISSOLOS HAPLICOS com NEOSSOLOS LITOLICOS ou NEOSSOLOS REGOLITICOS	5,56
SG1	Associação de PLANOSSOLOS HIDROMORFICO, GLEISSOLOS HAPLICOS e PLINTOSSOLOS ARGILUVICOS	1,14
PV2	Associação de ARGISSOLOS VERMELHOS ou ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS com CAMBISSOLOS HAPLICO	2,29
PV1	Grupo indiferenciado de ARGISSOLOS VERMELHOS e ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS	2,47

Para uma caracterização mais específica esta associação constitui-se de três tipos de solos.

a) Os solos Cambissolos Háplicos: são solos com profundidade de até 1 metro. A coloração deste solo é acinzentada no horizonte A e mais avermelhada ou amarela no horizonte B, e o horizonte C tem uma coloração variada (vermelho, amarelo, cinza, branco);

b) Os solos Neossolos Litólicos: situam-se a partir de 50 cm ou meados. A coloração deste solo é bruno-avermelhada-escura no horizonte A, geralmente variada no horizonte C (vermelho, amarelo, cinzento);

c) Os Neossolos Regolíticos: possuem profundidade maior de 50cm. A coloração deste solo é brunada no horizonte A, e geralmente variado no horizonte C (vermelho, amarelo, cinzento). Esta unidade de mapeamento pode ser classificada como a união de solos distróficos, ou seja, de solos ácidos que apresentam baixa disponibilidade de nutrientes para as plantas, alguns bem drenados.

Os solos: planossolos hidromórficos, gleissolos háplicos e plintossolos argilúvicos ocorrem em planícies aluviais e lagunares com microrelevo, perfazem um total de 1,14 km² na bacia hidrográfica do arroio Capivara, considerada a menor classe.

A associação dos solos argissolos vermelhos ou argissolos vermelho-amarelos com cambissolos háplicos ocorre em 2,29 km² e é encontrada em topos e encostas de elevações, em relevo ondulado e fortemente ondulado, nos terços inferiores de encostas de morros em relevo fortemente ondulado e montanhoso.

O grupo indiferenciado de argissolos vermelhos e argissolos vermelho-amarelos ocorre em 2,47 km² e é encontrada em topos e encostas de elevações, em relevo suavemente ondulado e ondulado. De maneira geral, as características mais ou menos comuns de todos os

tipos de solos da área em estudo são: bem a moderadamente drenados, ou imperfeitamente a mal drenados, como o caso dos Planossolos Hidromórficos que propiciam a plantação de arroz e os muito mal drenados constituídos pelos Gleissolos Hápicos adequados para horticultura, fruticultura e culturas anuais.

A área de estudo apresenta diversidade de relevo e de litologias, que são os principais responsáveis pela variedade e distribuição dos solos. Com a transformação da paisagem pela urbanização das cidades, muitas modificações ocorrem nos solos com alterações nas suas características físicas, químicas e morfológicas.

4.1.2 Relevo

De modo geral, as bacias hidrográficas apresentam formas de relevo diversas, com uma morfologia colinosa, com interflúvios amplos e vertentes convexas. A área de estudo apresenta uma grande diversidade de relevo, entre retilíneo, côncavo e convexo, e de litologias, que são os principais responsáveis pela variedade e distribuição dos solos.

A forma de relevo retilíneo se destaca na área de estudo com 5,2 km², totalizando 45,52% da área da bacia hidrográfica (Figura 4.2).

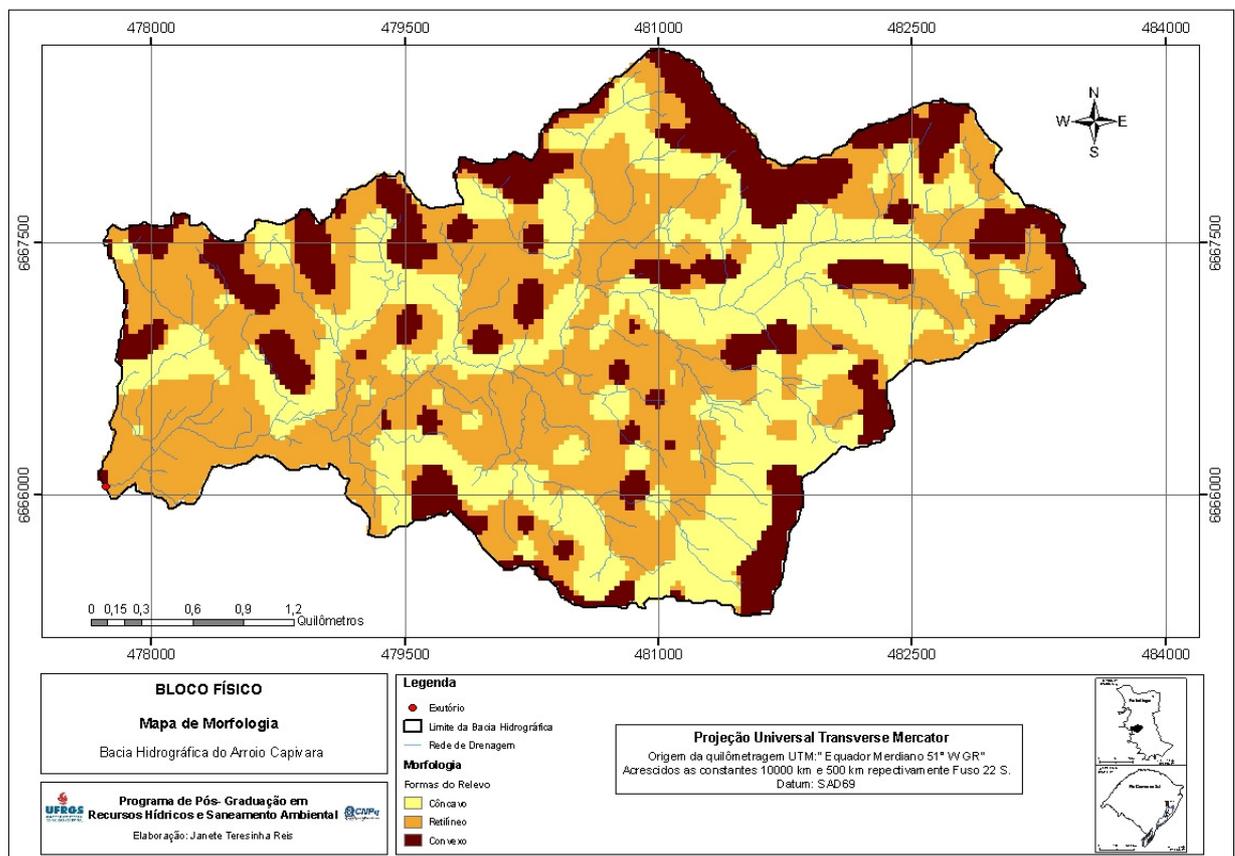


Figura 4.2 – Mapa de morfologia da área de estudo

Em segundo momento, a forma de relevo côncavo representa 34,23%, ocupando 3,87 km² da paisagem. Assim como os relevos convexos assumem 2,3 km², contribuindo com 20,19% da área da bacia hidrográfica.

O relevo pode ser definido como o conjunto de formas apresentadas na superfície terrestre. As formas do relevo somam um total de 11,37 km² (Tabela 4.1) composta por irregularidades, dando origem as diferentes formas causadas pelos agentes modeladores do relevo. Estas diferentes formas do relevo tornam a paisagem divergente, com a atuação de agentes externos e internos sobre o relevo.

Tabela 4.1 – Formas do Relevo da bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS .

Formas de relevo	Área (Km²)	Percentual
Côncavo	3,87	34,23
Convexo	2,3	20,19
Retilíneo	5,2	45,58
Total	11,37 Km ²	100%

4.1.2.1 Declividade

O mapa de declividade, ou clinográfico indica as áreas com as mesmas inclinações no terreno. No arroio Capivara foram diagnosticadas seis classes de declividade: 0 a 2%, 2 a 5%, 5 a 10%, 10 a 20%, 20 a 30% e maior que 30% (Figura 4.3).

Com base neste mapa é possível verificar que as áreas com baixa declividade (0-2%) são pouco significativas, ocorrendo com predomínio na porção sul da bacia hidrográfica, junto aos cursos d'água, totalizando 17,66% da área. As declividades muito baixas estão associadas às terras baixas formadas por planícies e terraços de origem fluvial ou lacustre.

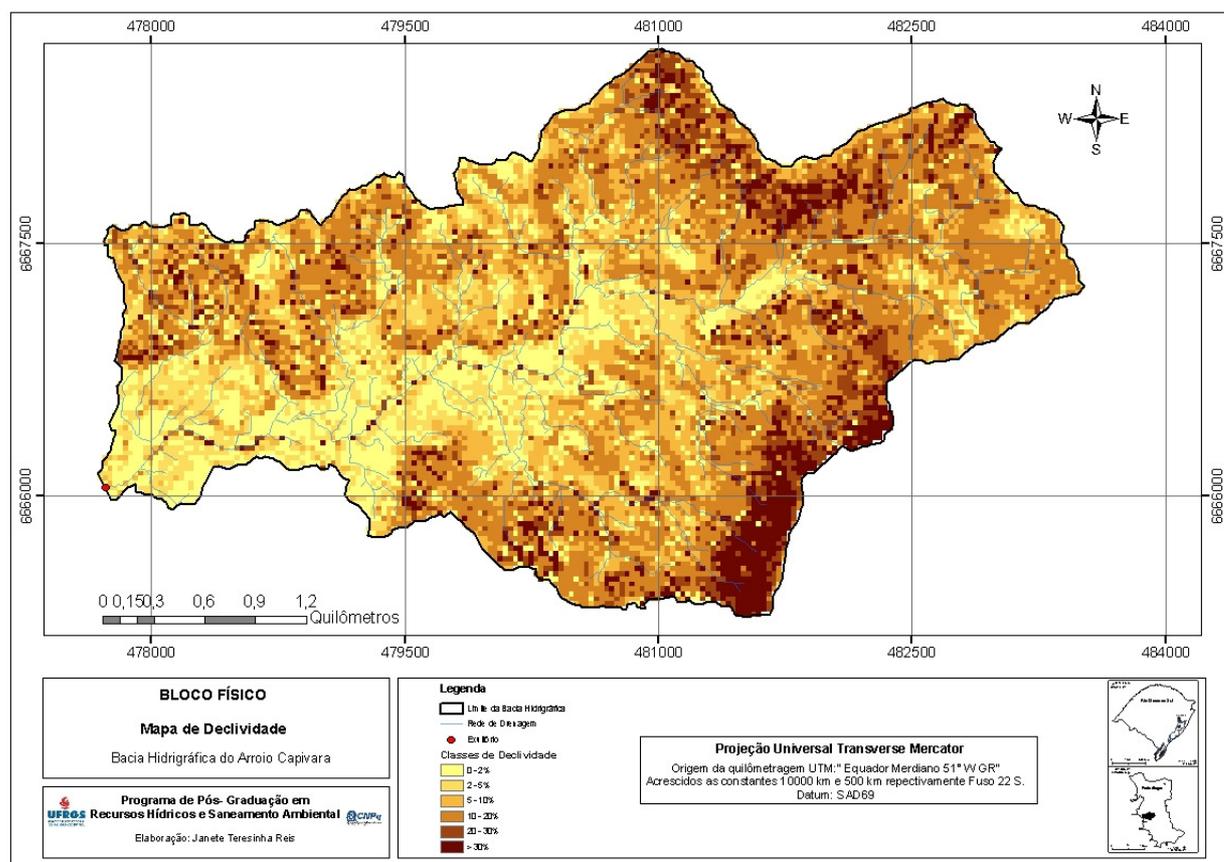


Figura 4.3 – Mapa de declividade da bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.

Fonte: Hasenack *et al.*, 2010.

O intervalo entre as declividades de 2 a 5% ocorre no entorno dos cursos de água e nas baixas vertentes dos morros perfazem 11,29% da área de estudo. As declividades baixas e médias estão associadas aos topos e encostas dos morros. O intervalo de declividade predominante constitui a classe de 10 a 20%, totalizando 33,25% da Bacia (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 – Intervalo de classes de declividade da área de estudo

Intervalo de Classes	Área (Km ²)	Porcentagem
0 - 2%	1,99	17,66%
2 - 5%	1,29	11,29%
5 - 10%	2,41	21,25%
10 - 20%	3,77	33,25%
20 - 30%	1,06	9,31%
> 30%	0,82	7,24%
Total	11,34	100%

A segunda faixa de maior ocorrência totaliza 21,25% da área, ocorrendo em 2,41 Km² no intervalo de declividade de 5 a 10%. As maiores declividades são encontradas no compartimento de morros nas áreas limites da bacia hidrográfica do arroio Capivara, junto ao

divisor da água, considerados acima de 30% de declividade. Esta classe totaliza uma área total de 7,24%, ou seja, 0,82 Km².

Com a definição das seis classes de declividade, evidenciou-se que a área de estudo apresenta variações na inclinação das vertentes, com uma maior concentração nas declividades, média e alta. As declividades de maior inclinação (30%) marcam uma importante ruptura do relevo, evidenciando uma declividade alta com restrição a ocupação urbana, ocorre nos morros da bacia hidrográfica em estudo.

De acordo com as normas do IPT (1981) as classes de declividade para estabilidade de encosta são de quatro classes: 0 - 2%, 2 - 5%, 5 - 15% e > a 15% (Figura 4.4). Tendo como limite para ocupação urbana a classe de 5 a 15%, e superior a esta classe pode ocorrer instabilidades das encostas, ocasionando movimentos de massa em terrenos que se apresentam desfavoráveis a sua ocorrência.

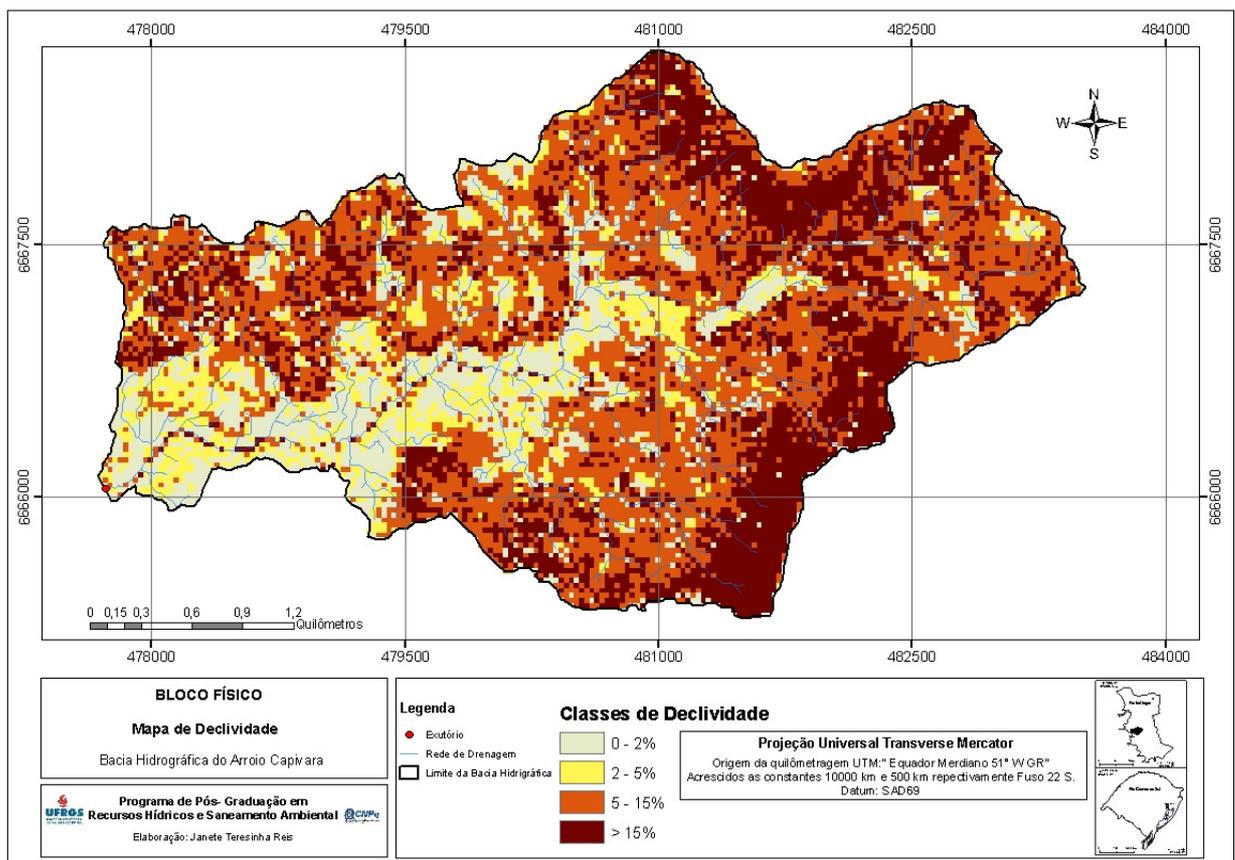


Figura 4.4 – Mapa de declividade da bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS
 Fonte: IPT, 1981.

A faixa de maior ocorrência totaliza 42,03% da área, ocorrendo em 4,76 Km² no intervalo de declividade de 5 a 15%. A faixa de menor ocorrência corresponde à classe de 2 a

5% de declividade com 1,29 Km² em 11,29% da área de estudo. Portanto, a faixa menos indicada para ocupação urbana, de acordo com o IPT representa 29,01% da área de estudo (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 – Intervalo de classes de declividade da área de estudo conforme IPT

Intervalo de Classes	Área (Km ²)	Porcentagem
0 - 2%	1,99	17,67
2 - 5%	1,29	11,29
5 - 15%	4,76	42,03
> 15%	3,3	29,01
Total	11,34	100%

4.1.3 Geologia

Na área de estudo ocorrem seis formações geológicas, das quais três correspondem a granitóides: o granito Viamão, granito Ponta Grossa e o granito Santana (Figura 4.5).

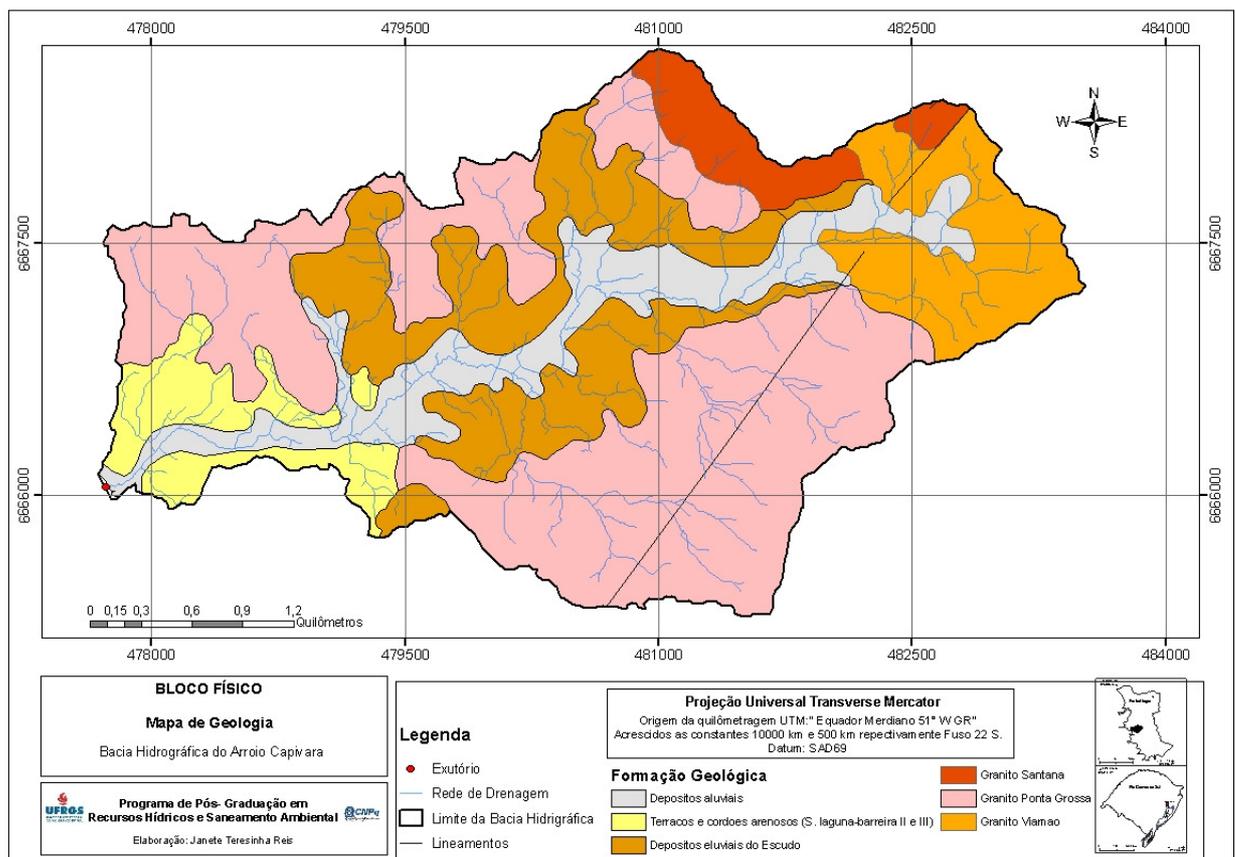


Figura 4.5 – Mapa geológico da bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS
Fonte: Hasenack, *et al.*, 2008.

Na porção Nordeste, ou seja, a montante da bacia é formado por rochas graníticas provenientes da unidade geológica Granito Viamão “caracterizada por ser a unidade mais

antiga dos granitóides e pela sua cor cinzenta” (PHILIP *et al.*, 2004). Esta formação geológica ocorre em 47,71% da área de estudo, compreendendo 5,41 Km², caracterizada pela presença dominante dos granitóides na bacia.

O granito Viamão apresenta um relevo em padrões de colinas com vales entalhados e uma série de características, tanto texturais como estruturais, que o identificam como uma rocha com facilidade para a percolação de água e propício à intensificação dos processos de intemperismo e de entalhamento fluvial, os quais condicionaram a formação do relevo, (FUJIMOTO, 2005).

O granito Ponta Grossa ocorre na porção Norte e Sul da bacia hidrográfica, ou seja, em altitudes médias a altas, e assume destaque por representar 18,69 % da bacia, totalizando 2,12 Km² da área. (Tabela 4.4).

Tabela 4.4 – Formações geológicas na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS

Formações Geológicas	Área – Km²	Porcentagem
Terraços e cordões arenosos (S. laguna-barreira II e III)	0,31	2,74
Granito Viamão	5,41	47,71
Granito Santana	2,81	24,78
Granito Ponta Grossa	2,12	18,69
Depósitos Eluviais do Escudo	0,55	4,85
Depósitos Aluviais	0,14	1,23
Total	11,34	100%

O granito Santana é encontrado na porção superior, ou seja, nas partes altas, ao norte da bacia, é formado por rochas alongadas e limitado por zonas de cisalhamento dúcteis. Esta formação constitui um padrão em forma de morros, ocorre em 2,81 Km², totalizando aproximadamente 25% da área de estudo. “Sendo este granito mais novo que o Granito Viamão, pois sofreu menos tensões tectônicas” (FUJIMOTO, 2005). Na porção central da bacia hidrográfica ocorrem os Depósitos Aluviais no entorno do curso d’água principal, totalizando 0,14 Km², ou seja, 1,23 % com o menor percentual. Esta é constituída por depósitos sedimentares inconsolidados, assim como, os Depósitos Eluviais do escudo, que representam 4,85 %, totalizando 0,55 Km².

Parte da porção Sudoeste (SE) da bacia hidrográfica é composta pela formação Terraços e cordões arenosos (S. laguna-barreira II e III) perfazendo um total de 0,31 Km², o qual corresponde a 2,74 % da área estudada. As características litológicas são muito semelhantes entre o Sistema Depositional laguna-barreira II e III por apresentarem sedimentos nos ambientes deposicionais constituídos de areia.

Em termos gerais, os morros e as colinas da área de estudo são formados por rochas graníticas “geradas durante estágios de evolução de um cinturão orogênico, conhecido como Cinturão Dom Feliciano” (PHILIP, 1998). O granito Viamão e o granito Ponta Grossa são as formações geológicas mais representativas e que sustentam as formas de relevo da área de estudo.

4.1.4 Geomorfologia

De acordo com a compartimentação do relevo proposta por Suertegaray e Fujimoto (2004), no município de Porto alegre ocorrem três unidades morfoesculturais: o Planalto Uruguaio Sulriograndense e a Planície e/ou Terras Baixas Costeiras, e os sedimentos provenientes da Depressão Periférica.

Na bacia hidrográfica do arroio Capivara ocorrem três padrões de formas de relevo: o Padrão em Forma de Morros, o Padrão em Forma de Morros Associados com Colinas e o Padrão em Forma de Planície Flúvio-lagunar (Figura 4.6).

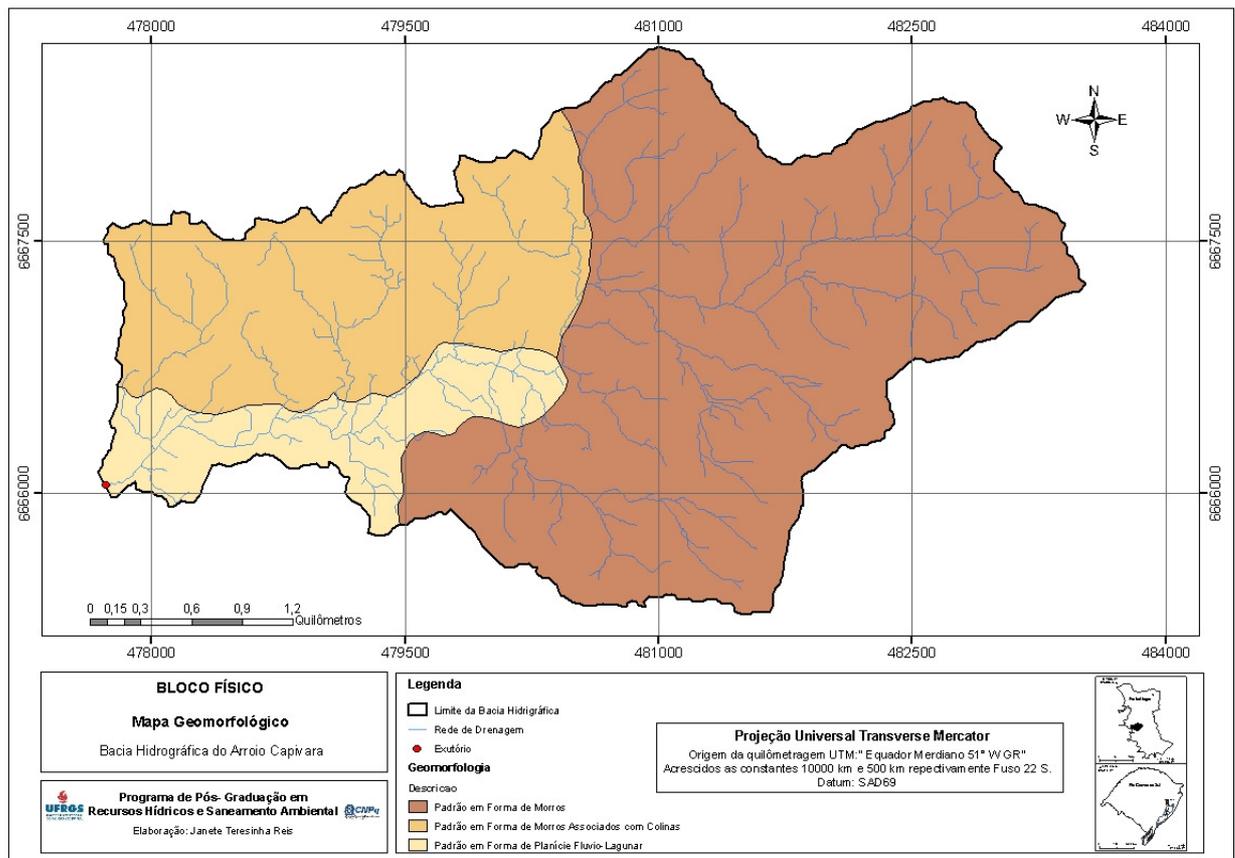


Figura 4.6 – A compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do arroio Capivara.
 Fonte: Dias e Fujimoto, 2008
 Escala original - 1:50.000.

a) Padrão em forma de morros: é a compartimentação mais significativa, da área de estudo por representar mais de 57% da bacia hidrográfica, ocorrendo em uma área superior a 6 Km² e é representada pela cor marrom no mapa. Este compartimento é formado por um conjunto de morros com topos convexos e alguns aguçados, configurando cristas. Apresenta as maiores elevações do município com altitudes predominantes entre 210 a 240m (máxima, 311m) e a declividades permanecem de 10 a 20%. As vertentes apresentam segmento predominantemente retilíneo-côncavo Este conjunto de formas de relevo é constituído basicamente por rochas graníticas e de sedimentos procedentes do granito

Os solos são classificados como neossolos litólicos, pois são rasos e com grande incidência de afloramentos rochosos, matacões de grandes dimensões que aparecem nas altas e médias vertentes, enquanto que os solos relativamente profundos são encontrados, predominantemente, na baixa vertente associados aos segmentos côncavos (Figura 4.7 e 4.8).



Figura 4.7 - Padrões em forma de morros no arroio Capivara
Trabalho de Campo: 11-02-2011.



Figura 4.8 - Padrões em forma de morro na bacia hidrográfica
Trabalho de Campo: 9-02-2010

b) Padrão em forma de morros associados com colinas: a compartimentação de morros está associada com formas em colinas, e representa 26% da área de estudo, totalizando aproximadamente 3,0 Km². Esta constitui-se por rochas graníticas e em alguns segmentos desse compartimento são encontradas rampas coluvionares com declividades médias de 2 a 5%, as quais caracterizam-se por depósitos originados por processos gravitacionais e/ou originados de alteração *in situ* do embasamento cristalino. Este padrão é formado por um conjunto de morros com topos convexos associados com formas em colinas com topos predominantemente convexos (Figura 4.9 e 4.10).



Figura 4.9 - Morros associados com Colinas no arroio Capivara, Porto Alegre-RS
Trabalho de Campo: 09-02-2010.



Figura 4.10 - Morros associados a colinas na bacia hidrográfica, Porto Alegre-RS
Trabalho de Campo: 09-02-2010

As declividades médias estão predominantemente nas classes de 2 a 5% e de 5 a 10%. Caracterizam-se pela associação de morros e colinas de difícil delimitação entre essas duas feições. As vertentes apresentam segmento predominantemente convexo-côncavo. Este conjunto de formas de relevo é constituído basicamente por rochas graníticas e de sedimentos procedentes do granito. Os solos são classificados como neossolos litólicos, pois são rasos e com grande incidência de afloramentos rochosos.

c) Padrão em forma de planície fluvial-lagunar: Esta compartimentação é a menos significativa com 1,84 Km², totalizando aproximadamente 16% na área de estudo. Sua formação foi a partir dos depósitos sedimentares originários principalmente da segunda grande transgressão marinha (Sistema Laguna-barreira II) que ligaram Porto Alegre ao continente por áreas planas alagadiças e terraços arenosos. Estende-se em direção sudeste-noroeste acompanhando a transição dos morros até a orla do Guaíba. Apresenta ondulações suaves e são entrecortados por colinas isoladas, planícies fluviais, morros isolados, e morros associados com colinas (Figura 4.11 e 4.12).



Figura 4.11 - Padrões em forma de planície Fluvial-Lagunar, foz da bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre-RS

Trabalho de campo: 09-02-2010.



Figura 4.12 - Padrões em forma de planície Fluvial-Lagunar, foz do arroio Capivara, Porto Alegre-RS

Trabalho de campo: 09-02-2010

Este conjunto de formas de relevo é constituído por depósitos do Sistema laguna-arreira II com sedimentos argilo-areno-conglomerático e conglomerático. São depósitos de fluxo de detritos, associado também a depósitos lacustres. Os solos são classificados como planossolos hidromórfico, gleissolos háplicos e plintossolos argilúvicos, caracterizados por serem mal drenados, localizados em áreas de várzea, com um relevo plano a suavemente ondulado.

4.1.5 Águas superficiais: rede de drenagem e qualidade da água

4.1.5.1 Rede de drenagem

No município de Porto Alegre podem ser delimitadas 27 sub-bacias hidrográficas, das quais, 18 são consideradas principais por apresentarem vários afluentes. As sub-bacias hidrográficas situadas na região norte e central apresentam características urbanas e de alta densidade habitacional e à medida que se avança para o sul, tornam-se progressivamente menos ocupadas, como é o caso da bacia hidrográfica do arroio Capivara (MENEGAT *et al.*, 2006).

A bacia hidrográfica do arroio Capivara, área de estudo, localiza-se na porção sul do município de Porto Alegre, nasce na formação do granito Viamão, na compartimentação em forma de topos e morros e se estende até o Lago Guaíba. A hierarquia fluvial segundo a classificação de Sthraler (1952) corresponde a 4ª ordem (Figura 4.13).

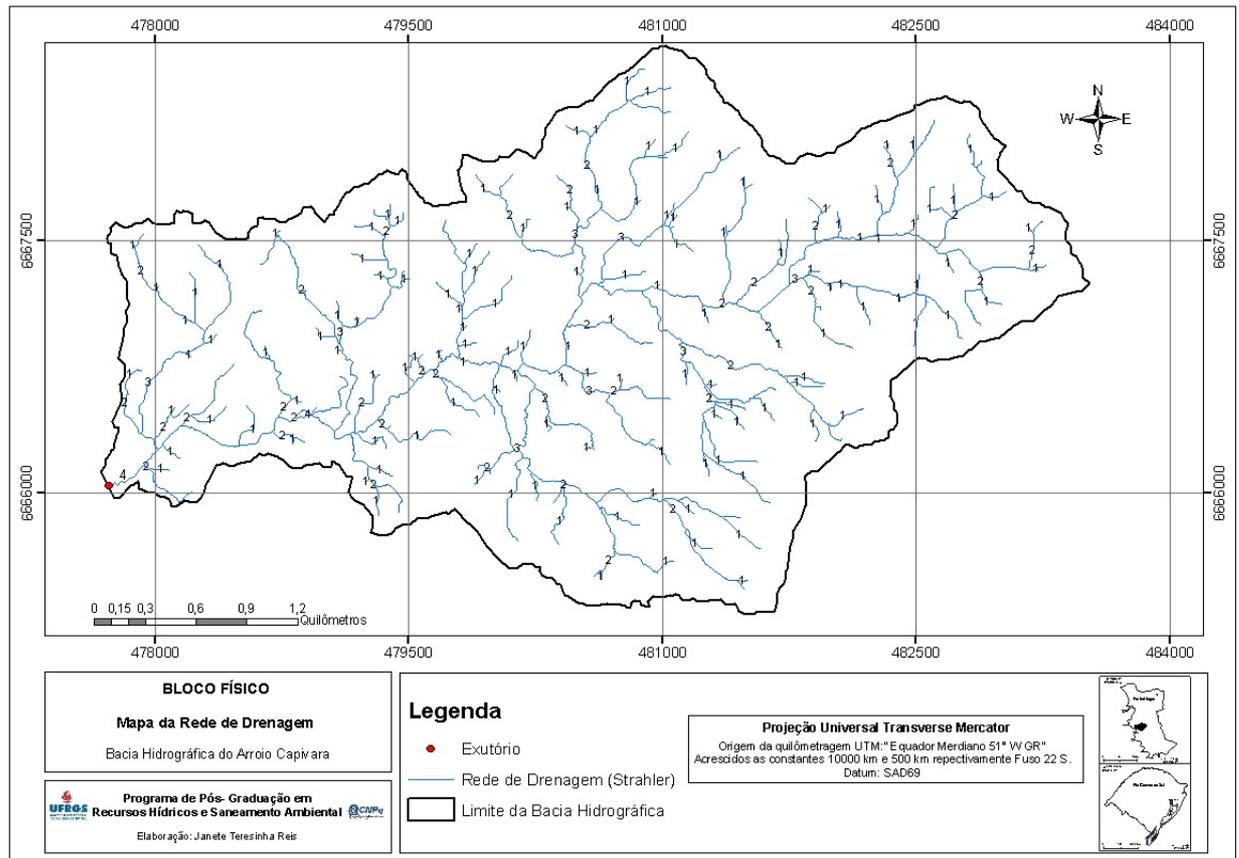


Figura 4.13 – Hierarquia fluvial do arroio Capivara, em Porto Alegre - RS.

O sentido principal da drenagem é de NE-SW, desaguando junto ao Lago Guaíba. Os canais apresentam um comprimento total de 2.213,75 km, em uma área com aproximadamente 11,34 km² e densamente drenada. O canal principal ocorre sobre depósitos aluviais recentes.

Com relação à densidade de drenagem a área apresenta 1,48 km², sendo classificada como uma área de baixa capacidade de drenagem. Esta característica geral das bacias está representada por um relevo mais suave com condições de alta permeabilidade devido ao predomínio de litologias arenosas.

Para um mesmo tipo de clima como ocorre na área de estudo, a densidade de drenagem depende do comportamento hidrológico das rochas. Assim, nas rochas mais impermeáveis, como os granitos, as condições para o escoamento superficial são melhores, possibilitando a formação de canais e, conseqüentemente, aumentando a densidade de drenagem.

4.1.5.2 Forma das sub-bacias

A forma circular da bacia retarda o escoamento da água, permitindo que grande parte da água acumulada chega ao exutório ao mesmo tempo, facilitando o transbordamento da água, pela intensidade do fluxo favorecendo a inundação.

O valor mais próximo de 1 da área de estudo é a sub-bacia B22, considerada a mais propícia para ocorrência de inundação, em contrapartida a sub-bacia menos propícia a ocorrência de inundação é a B11, cujo valor corresponde a 2,69 (Figura 4.14).

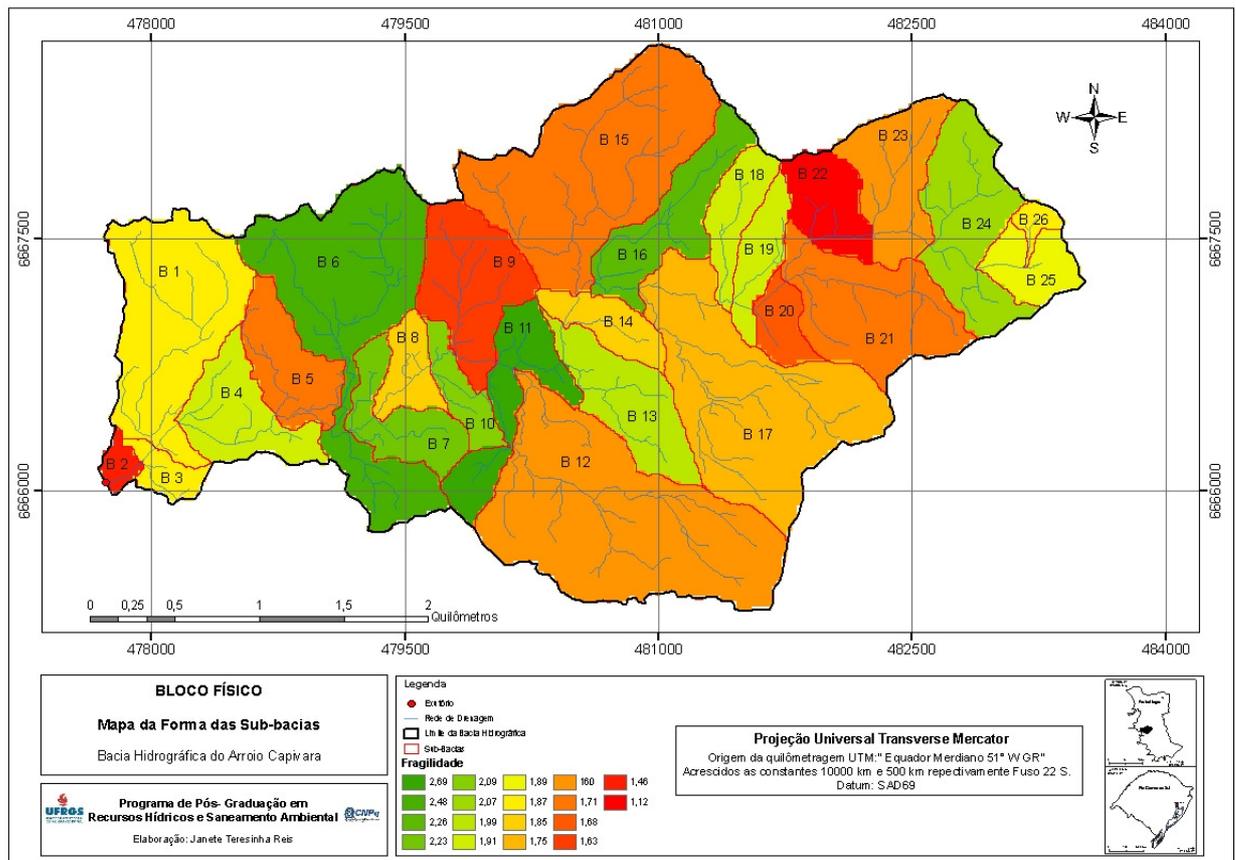


Figura 4.14 – Forma das sub-bacias na área de estudo

4.1.6.3 Qualidade da água

Para determinar a qualidade da água foram analisados parâmetros, em seis pontos amostrais, dois em afluentes e quatro no canal principal.

Na bacia hidrográfica do arroio Capivara, nas proximidades da Praia de Ipanema encontra-se o predomínio da rede de esgoto misto, ou seja, tratamento de esgoto secundário em ETE. Este fato caracteriza que uma porção mediana da população da bacia hidrográfica está ligada a rede de esgoto misto, sem tratamento e alguns setores com fossa domiciliar, ou coletiva, com tratamento de esgoto primário. Este fato evidencia a deficiência do tratamento

de esgoto pelas moradias locais (Figura 4.15), porém um fato positivo é a canalização da água na foz para a estação de tratamento, o que minimiza os efeitos nocivos antes do seu lançamento ao Lago Guaíba (Figura 4.16).



Figura 4.15 - Lançamento de esgoto direto no arroio Capivara
Trabalho de Campo: 09-02-2010



Figura 4.16 - Coloração da água na foz do arroio Capivara
Trabalho de Campo: 09-02-2010

No entanto, os principais impactos gerados pela ocupação na bacia hidrográfica do arroio Capivara é o lançamento dos esgotos cloacais clandestinos, a retiradas de mata ciliar, o assoreamento do leito e locais de deposição de lixo. O sistema de esgoto sanitário na bacia hidrográfica mostra três formas de tratamento e coleta de esgoto que são: sem tratamento, com tratamento primário e o esgoto com tratamento secundário em ETE.

As descargas de efluentes sem o devido tratamento são consideradas, atualmente uma das formas que mais poluem os cursos de água. A carga orgânica remanescente é aquela efetivamente lançada nos cursos de água, após redução ocorrida nos sistemas de tratamento e pode ser calculada como a carga orgânica gerada pela população urbana menos a carga orgânica retida. A matéria orgânica gerada por pessoa ao dia é de 54 g/hab/dia DBO.

Desta forma, a maior carga orgânica remanescente pode ser encontrada da metade em direção a foz da bacia hidrográfica do arroio Capivara. O menor percentual de carga orgânica remanescente localiza-se a montante da bacia hidrográfica (Figura 4.17). Este fato se deve grande parte pela concentração da população da metade em direção a foz e na montante da bacia uma menor concentração de população e locais sem habitações ou moradias.

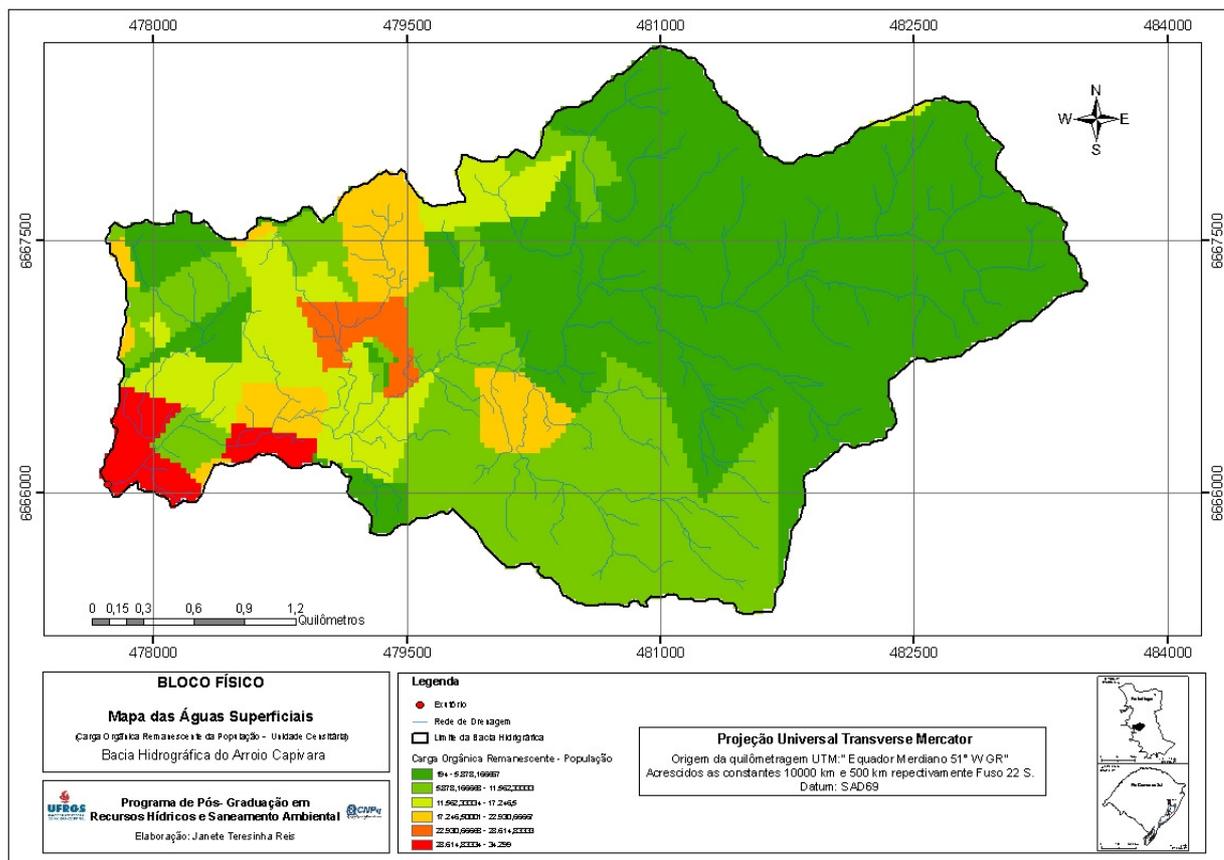


Figura 4.17 – Carga orgânica remanescente da população na bacia hidrográfica do arroio Capivara

A carga orgânica remanescente também foi estimada por bacia de contribuição. Assim a carga orgânica remanescente das populações é proporcional à densidade populacional das bacias de contribuição. Para tanto, as bacias de contribuição 3, 4, e 5 (CP3, CP4, CP5) sequencialmente apresentam as áreas mais frágeis por serem consideradas as mais densamente povoadas, e portanto, não necessariamente as bacias de contribuição de maior população (Figura 4.18). Este fato pode ser atribuído a maior densidade populacional, associado à falta de saneamento básico.

A menor carga orgânica remanescente da população localiza-se nas bacias de contribuição do Afluente 1 (AF1) e bacia de contribuição Capivara 1 (CP1).

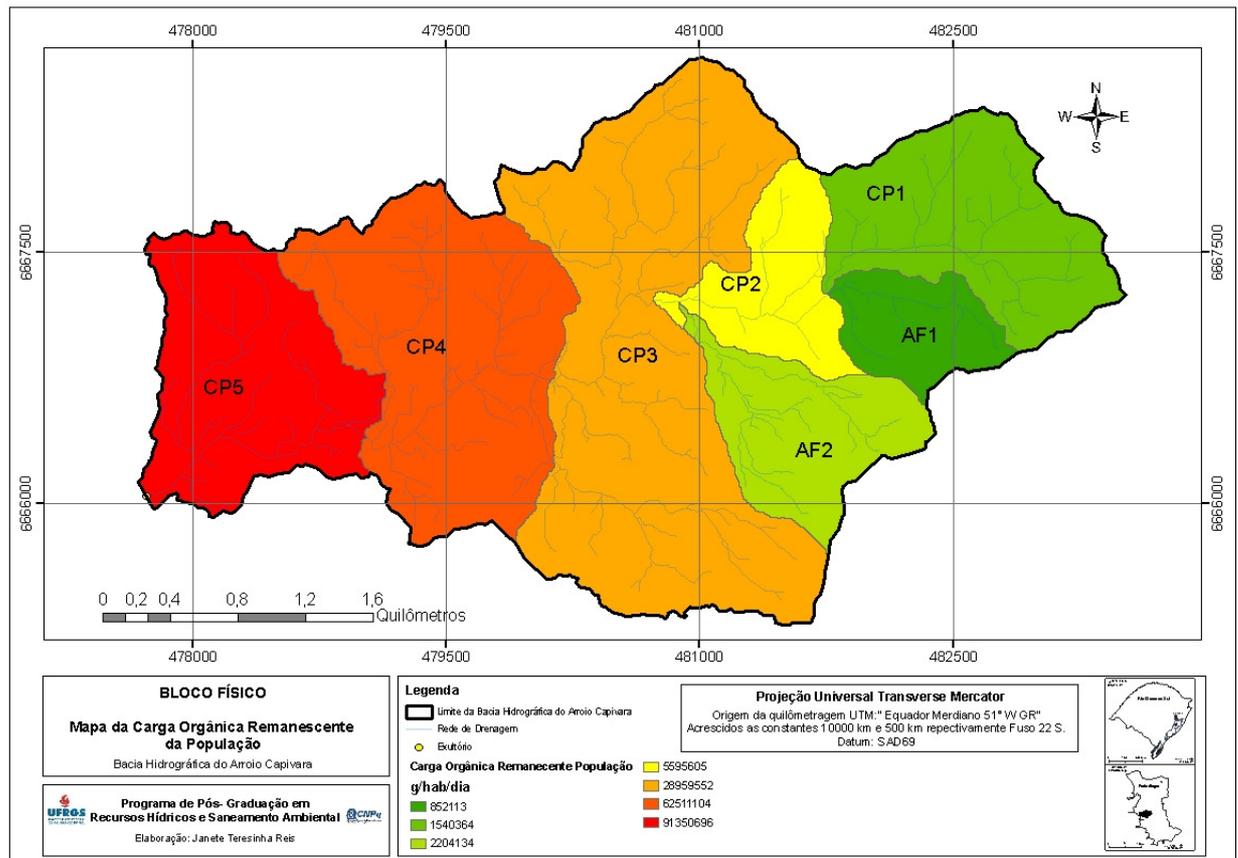


Figura 4.18 – Carga orgânica remanescente da população por bacia de contribuição na bacia hidrográfica do arroio Capivara

Outra forma de poluição ocorre pelo lançamento de agrotóxicos das lavouras, que em virtude da erosão, vai parar nos cursos de água. Esta contaminação ocorre tanto, no solo como nas águas, por meio dos fertilizantes e os agrotóxicos que são conduzidos pela água da chuva. Uma parte penetra no solo que atinge o lençol freático contaminando o aquífero, a outra parte é levada pela enxurrada até os cursos de água que se encontram nas partes mais baixas. Além disso, pode contaminar o próprio homem ao utilizar a água poluída dos cursos de água.

As lavouras temporárias contaminam cinco vezes mais o solo e os cursos de água do que as lavouras permanentes. Desse modo, considera-se que os cursos de água que circundam por lavouras temporárias encontram-se mais poluídas e, portanto, são consideradas áreas mais frágeis. Estas lavouras situam-se no centro da bacia hidrográfica do arroio Capivara em maior proporção e as lavouras permanentes, em menor proporção são encontradas de forma esparsa de montante em direção ao centro da bacia hidrográfica (Figura 4.19).

O índice de vulnerabilidade das águas subterrâneas da área de estudo concentra-se em média e alta. As áreas de maior probabilidade de ocorrer contaminação são as de alta vulnerabilidade, que se localizam, em maior proporção, na porção sul da bacia hidrográfica (Figura 4.20).

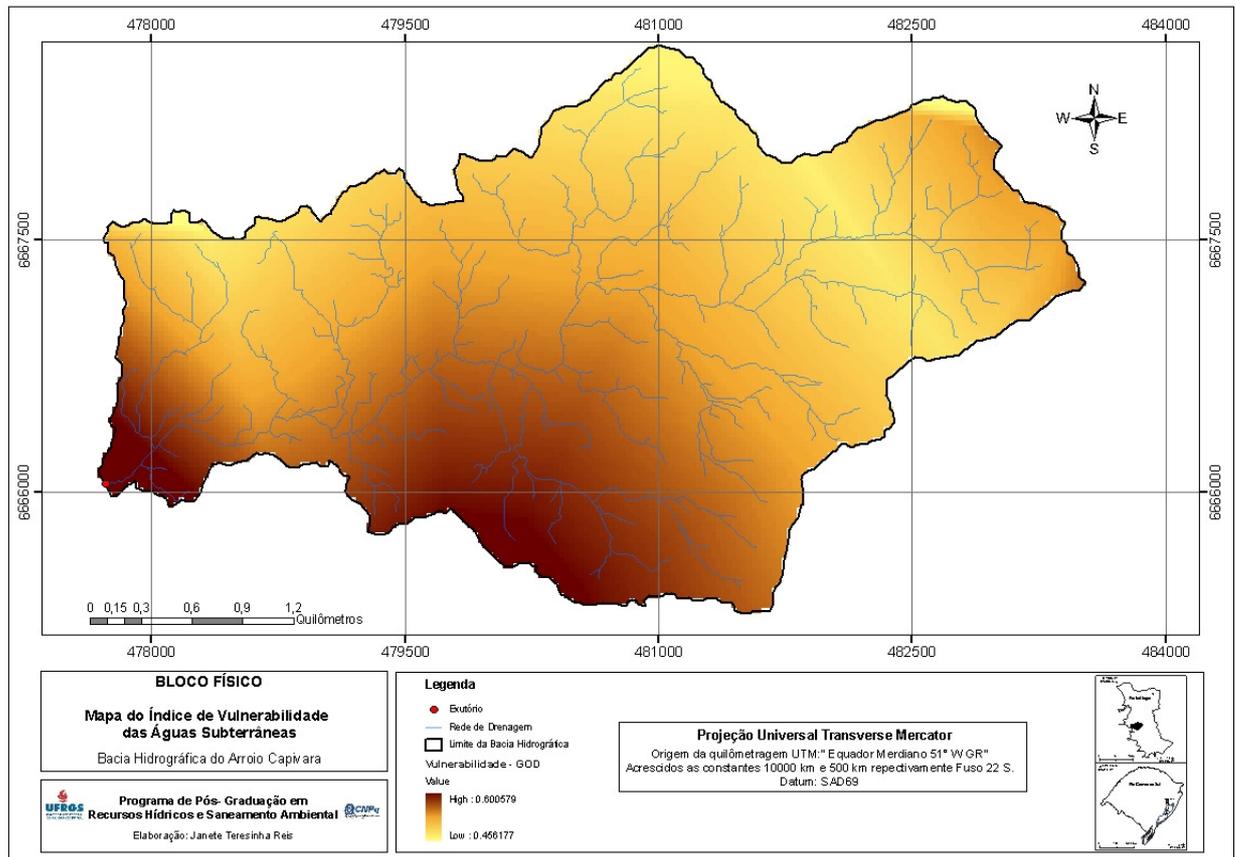


Figura 4.20– Mapa do índice de vulnerabilidade das águas subterrâneas na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS

4.2 Características do meio biótico

O meio biótico traz uma breve caracterização da fauna terrestre, flora terrestre e áreas de preservação permanente.

4.2.1 Meio biótico

4.2.1.1 Fauna terrestre: diversidade da fauna

A fauna terrestre do município de Porto Alegre constitui-se na coletânea de animais existentes e compartilhada com outras regiões do Rio grande do Sul, Brasil, Uruguai e Argentina. O resgate da fauna natural é resultado de um conjunto de fatores determinantes,

como a história natural passada, através dos eventos geológicos, isolamento ou existência de ligação entre outros continentes, paleoclima, invasão e extinção de espécies. Além disso, o ambiente em que se encontram é outro fator determinante, assim como, o clima, a vegetação, o relevo; a modificação da cobertura vegetal pela ação humana, a destruição dos habitats, a introdução de novas espécies, como gado, aves (pombo, pardal), ratos, gatos, cães e lebres (MENEGAT *et al.*, 2006).

As espécies nativas encontradas são uma pequena amostra da abundância que existiu no passado. A maioria das espécies que permanecem estão em refúgios naturais nos morros, em banhados, nas restingas das margens do Guaíba e em outras áreas ainda preservadas, como a Reserva Biológica do Lami. A preservação das áreas com matas, banhados naturais e implantação de mais parques urbanos para abrigar as espécies de fauna nativa poderão manter as espécies existentes, inclusive aumentar o número destas espécies, tendo em vista que a modificação dos habitats naturais pelo homem extinguiu muitos animais, antes encontrados na área de estudo.

4.2.1.2 Flora terrestre: vegetação natural

A vegetação caracteriza-se como um sistema que abriga diferentes espécies nativas e exóticas, as quais se adaptam ao tipo de clima, as precipitações, tipos de solos, etc. O Estado do Rio Grande do Sul situa-se em uma região de transição entre biomas e zonas biogeográficas distintas. Apresenta paisagens e ecossistemas diversificados que abrigam espécies com diferentes centros de origem, além de um número considerável de endemismos. Entre os ecossistemas predominantes no estado, podem ser denominadas a Campanha Gaúcha (região de estepes) formada por extensos campos, a floresta Ombrófila Mista (mata de Araucária), a Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica) e a Floresta Estacional Decidual (Floresta Tropical Caducifólia) (HASENACK *et al.*, 2008).

A flora nativa do RS tem cerca de 5.000 espécies, das quais 4.500 são fanerógamas e o restante pertence aos pteridófitos e musgos. O Atlas Ambiental de Porto Alegre - Menegat *et al.*, (2006) apresenta um mapeamento com a reconstituição da vegetação original de Porto Alegre no século XVII. Este apresenta a situação da cobertura vegetal do meio biótico. Os tipos fisionômicos remanescentes ao processo de ocupação urbana foram classificados em:

- Mata alta: (Floresta Ombrófila Densa submontana de solos profundos);
- Mata baixa: (Floresta Ombrófila Densa submontana de solos rasos);
- Mata com figueiras em terras baixas (Floresta Ombrófila Densa de terras baixas);

- Mata aluvial (Floresta Estacional Semidecidual Aluvial);
- Campo seco, campo com butiás (Estepe-parque);
- Campo úmido, potreiro (Estepe);
- Banhado alto, sarandizal, amricazal (formação pioneira de influência fluvial, arbustivo-arbérea;
- Juncal, macrófitos flutuantes (Formação pioneira de influência fluvial herbácea).

As árvores plantadas em vias públicas somam um milhão de espécies, entre as quais podem-se citar: o ligustro, o cinamomo, a tipuada, a perna-de-moça e o plátano, as espécies de árvores predominantes nos bairros mais antigos da capital, plantadas e oriundas da Ásia, Austrália e Argentina.

A vegetação natural encontra-se preservada em áreas de maior dificuldade de ocupação urbana, como nas encostas íngremes dos morros graníticos, nas áreas úmidas do Delta do Jacuí, abarcando a porção sul do município. Os morros e o delta do jacuí permanecem com áreas de floresta natural, grande parte em virtude das iniciativas de conservação, o que favorece a diversidade de flora e fauna terrestre no município.

Na bacia hidrográfica do arroio Capivara encontram-se quatro tipos de florestas nativas, dos quais dois são considerados campos savanóides e outros dois são formações pioneiras das áreas úmidas. Na flora terrestre pode ser encontrada a Floresta Ombrófila Densa, a qual é caracterizada como Submontana de Solos Profundos, o que constitui uma espécie arbórea latifoliada perenifólia com uma altura entre 10 a 20 metros de forma contínua e a Floresta Ombrófila Densa, caracterizada como Submontana de solos Rasos com uma vegetação arbórea latifoliada perenifólia, também de 10 a 20 metros, porém de forma esparsa e de 5 a 10 metros considerada contínua (MENEGAT *et al.*, 2006).

4.2.1.3 Áreas de preservação permanente

As Áreas de Preservação Permanente são consideradas áreas de grande importância ecológica, que devem permanecer cobertas por vegetação nativa, e desempenham a função de preservar os recursos hídricos, entre outros, conforme complementa o Código Florestal Brasileiro. Segundo Brasil (1965) Áreas de Preservação Permanente (APP) são áreas protegidas “(...) cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” (Lei Federal nº 4771/1965, alterada pela Medida Provisória nº 2.166-67/2001).

Desta forma, são APPs as áreas marginais dos cursos de água (rios, córregos, lagos, reservatórios) e nascentes; áreas de topo de morros e montanhas, áreas em encostas acentuadas, restingas e mangues, entre outras. A importância das APPs em encostas acentuadas consiste em promover a estabilidade do solo pelo emaranhado de raízes das plantas, evitando a perda por erosão, proteger as partes mais baixas do terreno e frear ou estabilizar os processos erosivos.

As APPs da área de estudo abrangem aproximadamente 22%, considerando as margens dos cursos de água e as declividades iguais ou superiores a 30% (Figura 4.21). Porém, as margens dos cursos de água e as declividades mencionadas, definitivamente ocupadas por vegetação são muito inferiores a este percentual, uma vez que nelas encontram-se habitações e outros usos inadequados.

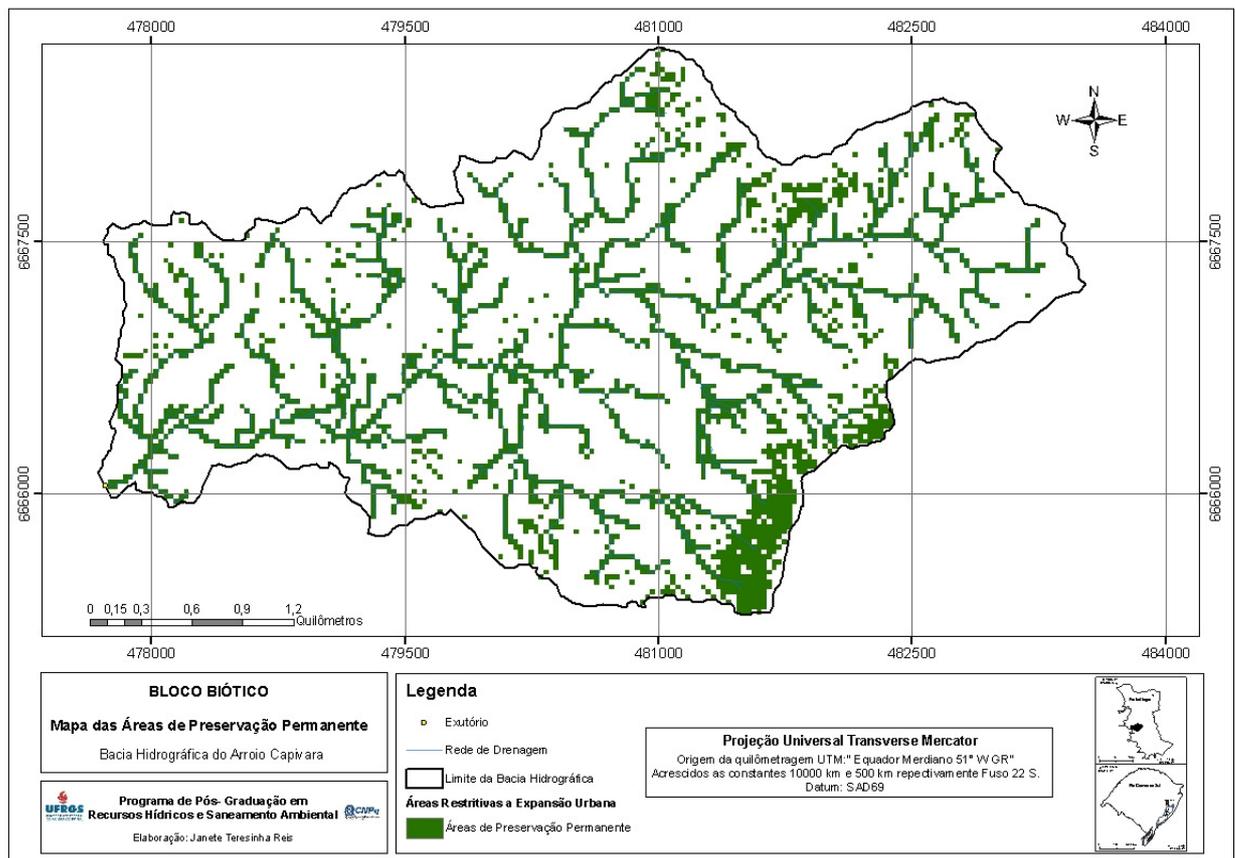


Figura 4.21 - Áreas de Preservação Permanente na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.

Este fato contribui para a instalação de áreas de conflito quanto ao uso e a ocupação do solo, tornando-as sujeitas a inundações em eventos de fortes precipitações pluviométricas, assim como aos movimentos de massa em casos de ocupação de encostas acentuadas. Portanto, ambos os casos estão vulneráveis e sujeitos a constantes instabilidades naturais.

A função das APPs junto às margens dos cursos d'água ou reservatórios é garantir a estabilização destas margens evitando que o seu solo seja levado diretamente para o leito dos cursos, atuando como filtro (SKORUPA, 2003).

4.3 Características do meio antrópico

Para caracterizar o meio antrópico as variáveis indicadoras referem-se à população, o saneamento básico, a infra-estrutura urbana e o uso e ocupação do solo, e o conseqüente conflito do uso do solo urbano.

4.3.1 População

A bacia hidrográfica do arroio Capivara percorre diversos bairros do município até desaguar no Lago Guaíba, entre eles, os bairros Pedra Redonda, Ipanema, Cavallhada, Vila Nova, Belém Novo, Aberta dos Morros e Campo Novo (Tabela 4.5). Em geral, esta bacia hidrográfica tem o leito e as margens estreitas, com a construção de habitações em ambas as margens da metade em direção a foz.

Tabela 4.5 - População da bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS

Bairro	População do bairro na bacia (%)	População do bairro na bacia em 1991 (hab)	População do bairro na bacia 2010 (hab)
Pedra Redonda	25,32	79	119
Ipanema	35,01	4.483	4.638
Cavallhada	14,34	2.812	2.811
Vila Nova	52,68	15.328	22.328
Belém Novo	6,70	368	585
Zona Indefinida	-	8.121	10.576
Total	-	31.191	41.057

Fonte: DMAE, Plano Diretor de Esgotos: EIA, Diagnóstico Ambiental Condomínio Alphaville, 2004.

4.3.1.1 Uso e ocupação do solo

O levantamento do uso e ocupação do solo é de extrema importância por relatar a influência que a ação antrópica realiza sobre o ambiente. Ao analisar a bacia hidrográfica do arroio Capivara observa-se uma área expressiva do uso por residencial casas representando a maior parte dos usos com 3,3 Km², totalizando 29,09% da área de estudo. A apropriação da natureza pelo ser humano e suas alterações ambientais podem representar impactos positivos ou negativos sobre a unidade de planejamento, dependendo do grau e estágio de apropriação sobre o ambiente, inclusive causar o comprometimento na qualidade ambiental. Em segundo

Tabela 4.6 – Tipos de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS

Uso e ocupação do solo	Área em Km²	Percentual
Comercial industrial e serviços urbanos	0,37	3,31
Comercial industrial e serviços rurais	0,01	0,09
Residencial edifícios	0,23	2,03
Residencial edifícios e casas	0,11	0,94
Residencial casas	3,3	29,09
Vias	0,34	3,04
Água	0,01	0,13
Mata nativa	1,49	13,24
Mata nativa com exótica	0,96	8,49
Bosque	0,11	0,95
Mata degradada	0,46	4,12
Arbustivo transição mata	0,19	1,72
Arbustivo transição campo	0,45	3,99
Campo	2,09	18,49
Silvicultura	0,01	0,08
Lavoura perene	0,05	0,51
Lavoura sazonal	0,92	8,12
Afloramento rochoso	0,02	0,19
Solo exposto	0,16	1,47
Área total da Bacia	11,28	100%

Ao analisar os usos: comercial industrial e serviços urbanos, comercial industrial e serviços rurais, residencial edifícios, residencial edifícios e casas, e residencial casas constatou-se um total de 32,15% da área em análise.

A evolução da ocupação, relacionada ao aumento populacional e intervenções na bacia hidrográfica se intensifica em direção a foz. O aumento das moradias próximas ao leito do rio exerce interferência no meio aquático. Esta intervenção diminui a qualidade do meio natural, através da poluição da água, diminuição da vegetação, da biótica aquática e dos animais nativos da área. O aumento das edificações em locais inadequados provoca alterações, mesmo tratando-se de uma bacia hidrográfica parcialmente preservada. Isto se deve a apropriação de áreas indevidas, decorrentes do processo de expansão sem planejamento ambiental.

4.3.1.2 Conflito de uso e ocupação do Solo

Na bacia hidrográfica do arroio Capivara grande parte de suas margens encontram-se ocupadas por algum tipo de uso inadequado, entre eles pode-se citar os mais relevantes, por residenciais casas com 8,4%, lavoura sazonal por 2,92% e com 2,01% de mata degradada, e outros menos significativos, perfazendo no total 16,8% da área onde as margens de 30 metros encontram-se em conflito com os tipos de uso e ocupação do solo urbano (Figura 4.23).

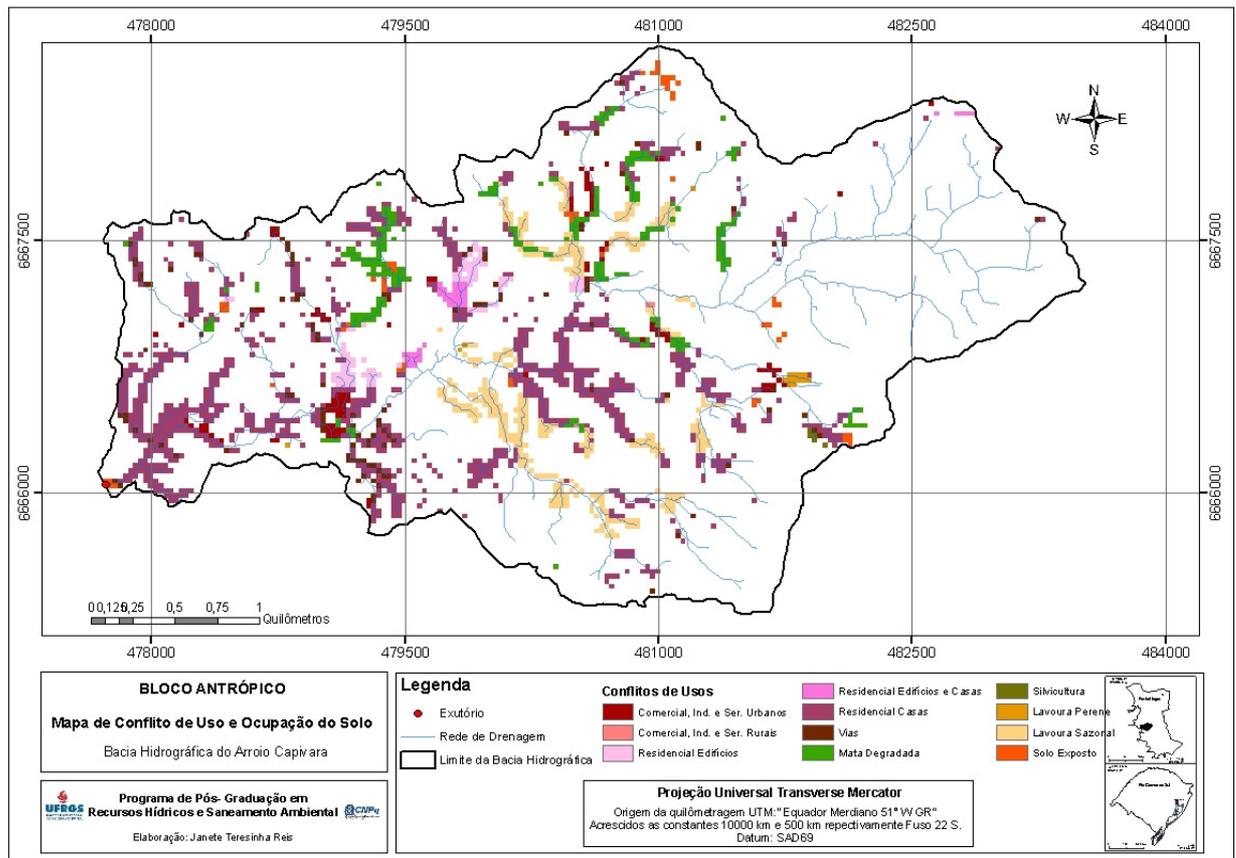


Figura 4.23 - Conflito de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.

A maior intensidade de ocupação da bacia ocorre da metade em direção a foz, apresentando ocupações de médio e alto padrão, favorecidos pela bela paisagem do Guaíba. Os problemas ambientais desse segmento são diversos, entre os quais: invasão da faixa de APP, lançamento “in natura” dos resíduos domésticos no leito do rio contaminando o curso d’água, ausência da vegetação nativa, desmatamento nas margens e no seu entorno causando erosão e processos de assoreamento. No leito observa-se a retenção de lixo e acúmulo de água, favorecendo a proliferação de mosquitos transmissores de doenças.

Outro segmento da bacia hidrográfica a montante verifica-se que grande parte da mata ciliar preservada, a exceção de pequenos trechos localizados isoladamente, este fato se deve ao relevo acentuado e a declividade dos terrenos. O uso do solo com menor percentual de conflito consiste do comercial industrial e serviços rurais com 0,02% (Tabela 4.7).

Tabela 4.7 – Conflito de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.

Uso e ocupação em conflito	Conflito de uso (Km ²)	Percentual
Comercial industrial e serviços urbanos	0,093	0,82
Comercial industrial e serviços rurais	0,002	0,02
Residencial edifícios	0,082	0,72
Residencial edifícios e casas	0,036	0,32
Residencial casas	0,951	8,4
Vias	0,111	0,97
Mata degradada	0,228	2,01
Silvicultura	0,004	0,04
Lavoura perene	0,014	0,12
Lavoura sazonal	0,332	2,92
Solo exposto	0,053	0,46
Área total em Conflito	1,906	16,8 %
Área total da Bacia	11,34	100%

4.3.2 Saneamento básico

De modo geral, as águas pluviais são lançadas diretamente e sem amortecimento no leito do arroio Capivara, o que se constitui em aumento de risco e de magnitude das inundações a jusante, além do lançamento direto dos esgotos cloacais (Figura 4.24 e 4.25).



Figura 4.24 - Lançamento do Esgoto Cloacal no arroio Capivara
Trabalho de campo: 09-02-2010.



Figura 4.25 - Lançamento de águas pluviais na bacia hidrográfica
Trabalho de campo: 9-02-2010

Atualmente o município possui dez estações de tratamento de esgoto sanitário, os quais fazem parte de um planejamento para minimizar a contaminação das águas das bacias hidrográficas que drenam a cidade. Deste universo, têm-se o sistema Zona sul e o Interceptor do arroio Capivara, junto a foz da bacia hidrográfica (Figura 4.26 e 4.27)



Figura 4.26 - Interceptor arroio Capivara
Trabalho de campo: 09-02-2010.



Figura 4.27 - Interceptor arroio Capivara
Trabalho de campo: 09-02-2010.

O interceptor do arroio Capivara prevê a coleta dos esgotos sanitários de toda a bacia hidrográfica com lançamento de redes coletoras (interligações) ao longo do interceptor. Mas, atualmente o interceptor atende apenas uma parte da área da bacia hidrográfica do arroio Capivara.

Porto Alegre possui sete sistemas de abastecimento de água, entre eles pode ser citado: o Sistema Moinhos de Vento, Sistema São João, Sistema Menino Deus, Sistema Lomba do Sabão, Sistema Ilha da Pintada, Sistema Tristeza, Sistema Lami interligado como Sistema Belém Novo (PORTO ALEGRE - PDA, 2010).

4.3.3 Infra-estrutura urbana

Porto Alegre possui uma das maiores tradições em planejamento urbano da América Latina. Em 1956, a cidade teve o Primeiro Plano de Obras e em 1959 o Plano Diretor previu o Primeiro Código de Obras. Porto Alegre, assim como a maioria das capitais brasileiras, sofreu influências das várias correntes do pensamento urbanístico, e por volta de 1850 o início da industrialização trouxe um conjunto de modificações para a cidade, tanto a nível cultural, físico, como social.

Na cidade podem ser identificadas características marcantes destas estruturas, entre elas tem-se uma cidade mais densificada ao norte, morros formando a Crista de Porto Alegre e ao sul uma cidade rarefeita, inclusive de malha viária.

4.3.3.1 Malha Viária

A estrutura viária de Porto Alegre como um todo apresenta ao Norte uma porção mais densificada, uma malha viária consolidada e hierarquizada, de pouca expansão. Ao sul dos

A malha viária da área de estudo apresenta os mesmos problemas da maioria das estradas brasileiras, ou seja, falta de iluminação pública, geometria e sinuosidade agravada pela iluminação deficiente. Para a porção sul, mais precisamente a área de estudo, recomenda-se estudos com critérios e processos de ocupação, que visam tanto o social, como o planejamento ambiental sustentável.

4.3.4 Concentração e índice de urbanização

A urbanização, em geral, leva a impermeabilização do terreno natural pela pavimentação das vias, dos passeios, dos pisos internos e das residências. Este fato contribui para acelerar e aumentar os volumes (vazões) das águas pluviais que são lançadas nos coletores, e a partir destes, aos cursos de água (Figuras 4.29 e 4.30)..



Figura 4.29 - Impermeabilidade do solo na bacia hidrográfica do arroio Capivara
Trabalho de Campo: 09-02-2010.



Figura 4.30 - Impermeabilização do solo, junto a foz da bacia hidrográfica do arroio Capivara
Trabalho de Campo: 09-02-2010.

A urbanização remete de forma indireta a problemática da drenagem urbana, que afeta a maioria das cidades brasileiras. Uma das principais consequências é o “aumento no pico do escoamento e a frequência das inundações”, entre outros (CAMPANA e TUCCI, 1994).

A partir do entendimento de que a urbanização, em geral, leva à impermeabilização a área de estudo foi dividida em sub-bacias de contribuição lateral para verificar o índice de impermeabilidade. Destaca-se, portanto, a sub-bacia B3, caracterizada por 100% de área impermeável. Ao contrário, na sub-bacia de contribuição B25 verifica-se o maior percentual de área permeável. Desta forma, o índice de impermeabilidade, aproximadamente de 40%, na bacia hidrográfica do arroio Capivara se intensifica à medida que vai avançando em direção a foz (Tabela 4.8).

Tabela 4.8 – Índice de impermeabilidade do solo urbano na bacia hidrográfica do arroio Capivara.

Sub-Bacias	Área (km²)	Permeável (%)	Impermeável (%)
Sub-B1	0,82	26,00	73,05
Sub-B2	0,05	13,00	87,00
Sub-B3	0,99	0,00	100
Sub-B4	0,34	20,36	79,63
Sub-B5	0,31	33,24	66,76
Sub-B6	1,07	30,20	69,79
Sub-B7	0,26	41,13	58,86
Sub-B8	0,15	53,68	46,32
Sub-B9	0,46	40,00	60,00
Sub-B10	0,14	91,51	8,48
Sub-B11	0,34	39,98	69,01
Sub-B12	1,40	78,26	21,74
Sub-B13	0,39	34,16	65,83
Sub-B14	0,18	37,25	62,74
Sub-B15	1,15	66,32	33,67
Sub-B16	0,34	86,56	13,44
Sub-B17	1,14	79,34	20,66
Sub-B18	0,19	80,00	20,00
Sub-B19	0,18	94,20	5,80
Sub-B20	0,13	90,54	9,46
Sub-B21	0,59	96,66	3,33
Sub-B22	0,24	95,57	4,42
Sub-B23	0,38	82,21	17,78
Sub-B24	0,53	91,51	8,49
Sub-B25	0,10	98,84	1,15
Sub-B26	0,05	68,96	31,03
TOTAL	11,95	60,18%	39,82%

A presença da vegetação perde gradativamente o destaque para o aumento da área ocupada por casas residenciais, comerciais, industriais, edifícios e vias. A ocupação do espaço ocorre de forma diferenciada, apresentando áreas homogêneas e de diferentes índices de uso, quanto mais para a foz, maior a ocupação das margens do Arroio por casas residenciais.

O índice de impermeabilização por edifícios, casas, ocupação comercial e industrial representam aproximadamente 32% das bacias de contribuição (Figura 4.31).

Em suma, a ocupação das margens dos cursos de água intensifica os problemas sócio-ambientais da área em estudo, trazendo impactos negativos ao ecossistema aquático, repercutindo negativamente na qualidade de vida da população local.

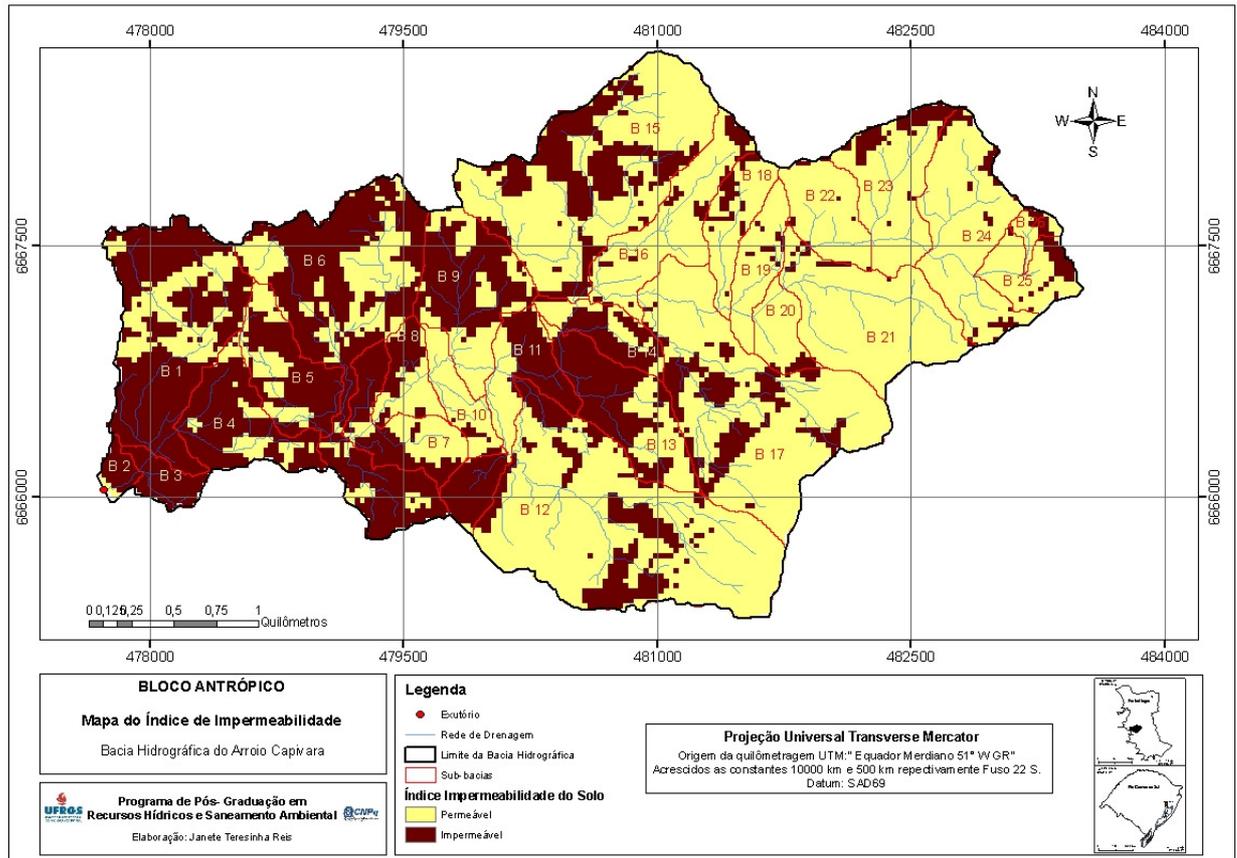


Figura 4.31 – Índice de impermeabilidade da bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.

A falta de planejamento, infra-estrutura adequada e saneamento refletem na qualidade da água do Arroio, tendo em vista, o alto índice de urbanização aliado a contaminação da qualidade da água pelo lançamento de esgoto diretamente no Arroio. Por outro lado, a presença de vegetação na porção leste da área de estudo reflete positivamente no ecossistema aquático, com menor comprometimento da qualidade da água. Este tipo de uso do solo merece destaque, além de reduzir a ação erosiva do solo nas declividades acentuadas, protege as nascentes da ação dos processos morfo-dinâmicos.

No entanto, o ambiente urbano apresenta características peculiares, que são o resultado das transformações das feições naturais de um determinado lugar. Desta forma, o conhecimento detalhado do ambiente urbano é importante para o planejamento local. E a adoção do planejamento urbano integrado, torna-se cada vez mais evidente, através do estudo da inter-relação do meio físico, biótico e antrópico para determinar áreas menos frágeis para fins de ocupação urbana e licenciamentos ambientais.

5 FRAGILIDADES AMBIENTAIS EM BACIA HIDROGRÁFICA URBANA

Os sistemas ambientais naturais em face das intervenções humanas apresentam maior ou menor fragilidade em função de suas características genéticas. A princípio, salvo algumas regiões do planeta, os ambientes naturais mostram-se, ou mostravam-se, em estado de equilíbrio dinâmico, até que as sociedades humanas passaram progressivamente a intervir, cada vez mais intensamente, na apropriação dos recursos naturais (Jurandy Ross apud Guerra 2006).

Neste capítulo, serão apresentadas as fragilidades ambientais que ocorrem no meio físico, biótico e antrópico da bacia hidrográfica urbana. Para tanto, foram elaborados mapas sínteses dos aspectos temáticos, oriundos da análise das variáveis indicadoras. Os mapas de fragilidade ambiental permitem definir diferentes categorias de fragilidade, da maior a menor de forma integrada. Para tanto, as áreas de menor fragilidade ambiental podem ser caracterizadas como potencialidades do meio urbano para expansão urbana e licenciamentos ambientais.

5.1 Fragilidades ambientais do meio físico

As fragilidades ambientais do meio físico referem-se aos aspectos: geologia/morfologia, contaminação das águas superficiais, estabilidade de encosta, risco de inundação e fragilidade à erosão na bacia hidrográfica do arroio Capivara localizada em Porto Alegre – RS, mais precisamente na zona sul do município.

5.1.1 Aspecto geologia/morfologia

O aspecto geologia/morfologia trata das fragilidades das unidades geológicas, das formas do relevo, da declividade e das águas subterrâneas da área de estudo. Quando se descreve as formas do relevo, sua formação geológica e ao sistema de drenagem associado referem-se de forma indireta ao meio físico da paisagem.

Para tanto, estudos relativos à fragilidade, expressos através de mapas e textos, são documentos de extrema importância ao planejamento ambiental, que tem como preocupação o desenvolvimento sustentado, onde conservação e recuperação ambiental estão lado a lado com o desenvolvimento econômico e social. O potencial de fragilidade de um ambiente natural varia de acordo com as características genéticas, aliadas as ações antrópicas desenvolvidas em determinado ambiente.

5.1.1.1 Geologia

O conhecimento da geologia da área é de grande importância por permitir a compreensão da origem e da composição dos solos, auxiliando nos estudos direcionados a questões de fragilidade da cobertura pedológica. Desta forma a geologia determina o tipo de solo predominante que, por sua vez, tem características que podem determinar sua permeabilidade.

Na bacia hidrográfica ocorrem seis formações geológicas: Depósitos Aluviais, Terraços e Cordões Arenosos, Depósitos Eluviais do Escudo, Granito Viamão, Granito Santana e Granito Ponta Grossa. Entre os citados, a formação mais frágil consiste nos Depósitos Aluviais, que se localizam no entorno da rede de drenagem do curso principal. Enquanto que a menos frágil é a formação Ponta Grossa, encontrada tanto ao sul como a norte da bacia hidrográfica, destacada pela maior porção da área de estudo com 44,15%.

As zonas mais frágeis permitem apontar áreas que apresentam restrições à expansão urbana ou medidas para corrigir uma instabilidade. A fragilidade ambiental da geologia teve como base as formações geológicas, grau de fraturamento e falhamento da área de estudo.

Para tanto, a maior fragilidade é encontrada no grupo dos materiais inconsolidados caracterizado pelos depósitos aluviais e, portanto, receberam o maior valor (255 bytes) entre as formações geológicas representada pela cor vermelha na bacia em estudo (Figura 5.1) que se concentra no entorno do curso principal da rede de drenagem. Esta classe corresponde a 13,18% da bacia.

O granito Viamão constitui a mais extensa unidade aflorante na região de Porto Alegre, mas na área de estudo contribui em apenas 10,15%. A fragilidade atribuída a esta formação corresponde ao valor 100 bytes. A unidade granito Ponta Grossa foi caracterizada como a menos frágil, ambientalmente (valor 0) é constituído por “pequenos corpos intrusivos do tipo stocks. Esta unidade litodêmica é caracterizada por cores rosa com tons avermelhados, textura granular média a grossa (5 a 10mm) e estrutura isótropa” (ROISENBERG *et al.*, 2002, p.56).

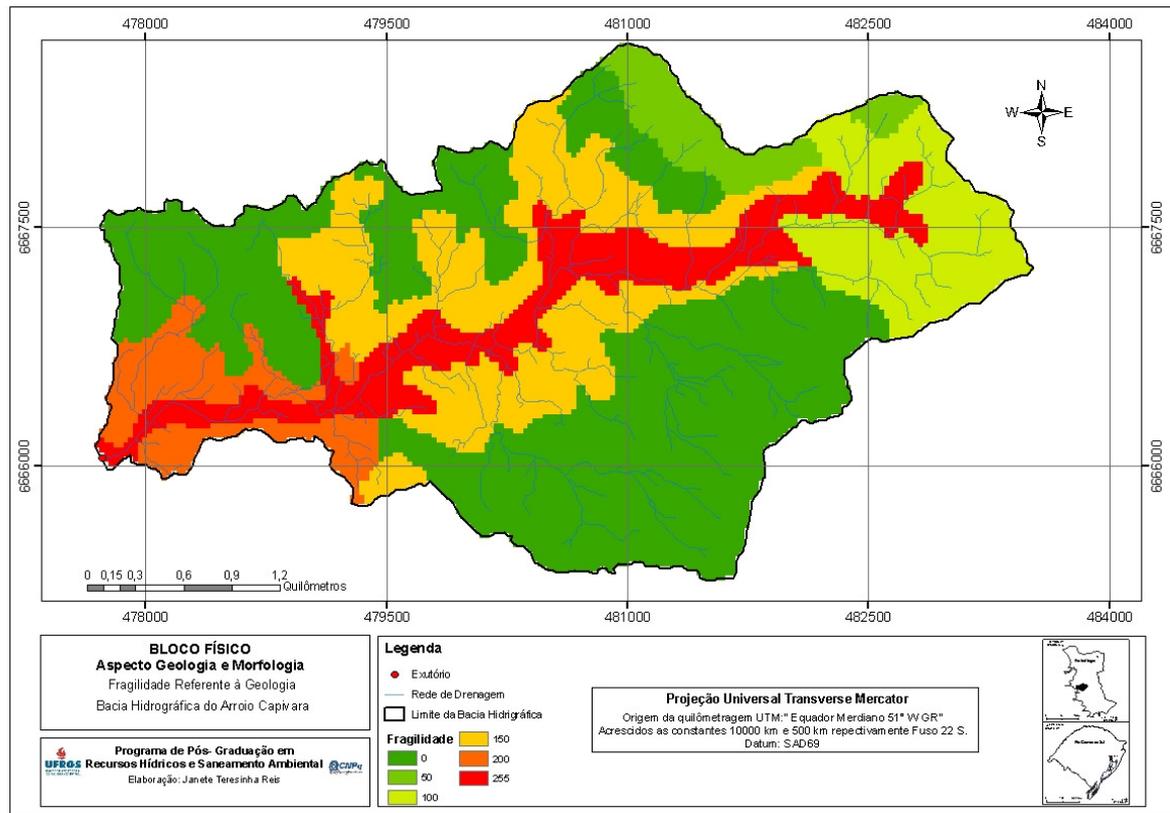


Figura 5.1 – Fragilidade ambiental da geologia na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS

O granito Santana corresponde à unidade granítica mais jovem da região, constituído por um corpo alongado, as rochas possuem “cores avermelhadas e apresentam manchas pretas oriundas de concentração de óxidos de ferro e manganês geradas, a partir da percolação de fluidos hidrotermais” (ROISENBERG *et al.*, 2002, p.57). Esta unidade ocorre em 4,77% na área de estudo e a fragilidade atribuída compreende 50 bytes.

Os Terraços e Cordões Arenosos localizados próximos a foz da bacia hidrográfica do arroio Capivara representam 7,04%, enquanto que os Depósitos Eluviais do Escudo contribuem em 20,69%, cuja fragilidade atribuída a esta unidade corresponde a 150 bytes.

5.1.1.2 Morfologia

As formas do relevo desempenham papel importante para o escoamento de águas superficiais, trazendo estabilidade ou instabilidade de uma encosta, de modo que nos topos e nos relevos mais planos predominam processos de infiltração, enquanto que nos terrenos mais inclinados, ocorre o escoamento superficial e/ ou subsuperficial das águas. Nas partes mais baixas e planas a tendência é de infiltração das águas, para tanto, esta área foi considerada a

menos frágil da bacia hidrográfica, seu maior percentual concentra-se próximo ao canal principal da parte central em direção a foz (Figura 5.2).

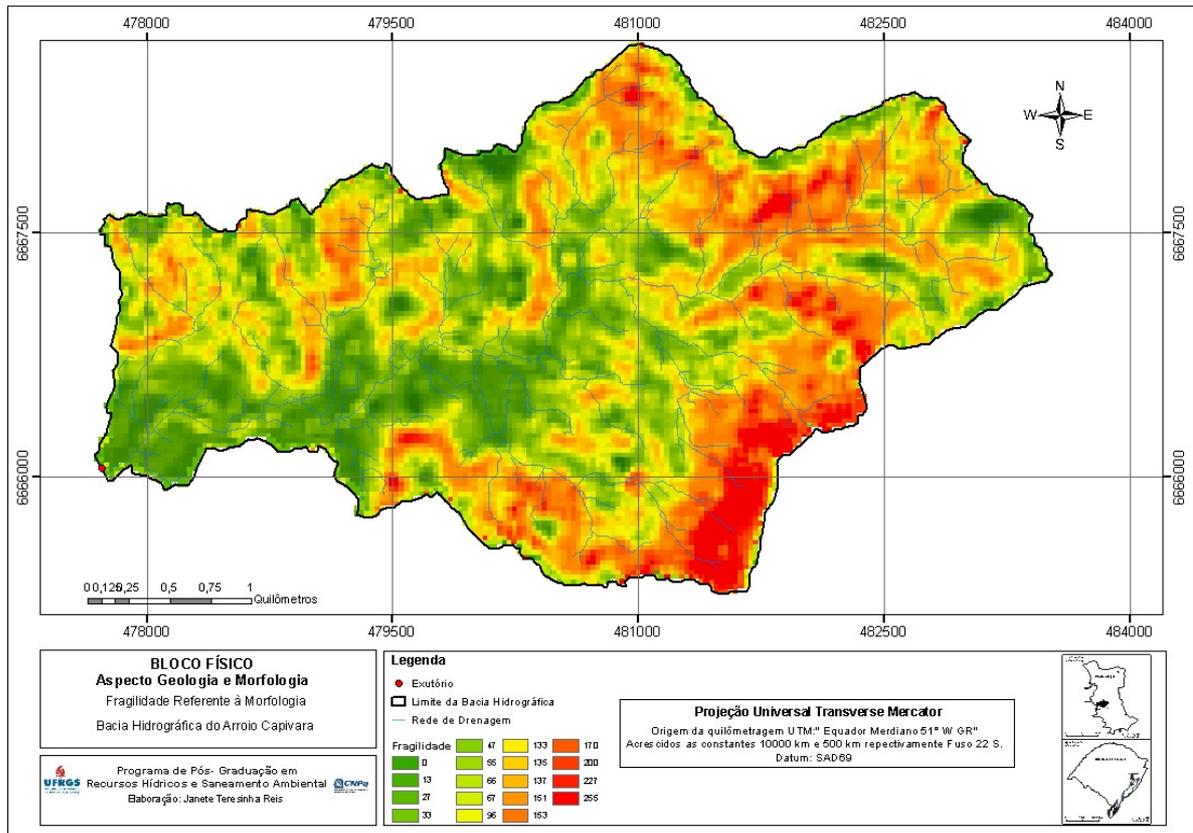


Figura 5.2 – Fragilidade ambiental da morfologia na bacia hidrográfica do arroio Capivara, em Porto Alegre – RS.

As formas do relevo seguem o quinto nível taxonômico propostos por Ross (1992) onde define que o relevo pode ser mapeado, possibilitando descrever e explicar as mais variadas formas, retilínea, convexa a côncava nas diferentes declividades. Os resultados morfológicos mostram que 7,81% das vertentes apresentam alta fragilidade, 37,64% média fragilidade e 54,55% são consideradas de baixa fragilidade.

De acordo com Hall e Olson (1991) a força erosiva causada pela concentração de água nas encostas côncavas pode ser considerável, e a remoção do material do solo pode ser bastante expressiva, ocorrendo com tanta intensidade que promove um constante rejuvenescimento dos solos. Chagas (2006) acrescenta que a ocorrência de solos mais rasos em relevos côncavos pode estar relacionada com a declividade, uma vez que o maior fluxo convergente de água favorece a morfogênese. Acrescenta-se a esse fato, a relevos côncavos desprotegidos de vegetação podem acelerar o processo erosivo, transportando materiais

solúveis das partes mais elevadas para as mais baixas. Além disso, o relevo é um dos principais fatores que influencia na distribuição da insolação na paisagem.

Analisando a afirmativa dos autores, verifica-se (Figura 5.2) que a maior fragilidade ambiental da bacia hidrográfica, ocorre sobre relevos côncavos, localizados próximo do sopé das vertentes. Estes são encontrados, principalmente, nos morros graníticos em declividades diferenciadas. Em contrapartida, a forma convexa apresenta a menor fragilidade ambiental e localiza-se em maior proporção no entorno do curso principal (da rede de drenagem) da metade em direção a foz.

5.1.1.3 Declividade

A declividade pode ser considerada um dos mais importantes atributos topográficos primários que controlam os processos pedogenéticos, uma vez que responde diretamente a velocidade do fluxo superficial e subsuperficial de água, bem como ao teor de água no solo e ao potencial de erosão/deposição (GALLANT e WILSON, 2000)

O grau de declividade de uma vertente, associado aos comprimentos de rampa apresenta maior velocidade de escoamento superficial e como consequência, maior fragilidade quanto aos processos erosivos. Nesse sentido, Cunha (1991) alerta que uma encosta com baixa declividade e comprimento de rampa, também pode ser vulnerável aos processos de erosão quando submetida a uma grande vazão de escoamento de águas superficiais, esse fator pode ocorrer dependendo das características de uso da área.

Na bacia hidrográfica do arroio Capivara constatou-se que a classe com declividade de 10 a 20% é predominante com 33,24%. O valor de fragilidade atribuída a essa classe foi de 180 bytes, a qual se distribui de forma esparsa pela bacia hidrográfica. De modo geral, se desenvolve próximo aos canais de drenagem e muitas vezes associadas com as áreas de rupturas de declive (Figura 5.3).

A maior fragilidade ambiental ocorre na declividade superior a 30%, localizado nas partes mais elevadas, junto aos morros graníticos, podendo ser verificada também em pontos isolados, mais precisamente, nas cabeceiras dos afluentes a montante da bacia hidrográfica. Esta classe ocupa 7,23% da bacia hidrográfica.

Em contrapartida, a menor fragilidade para estabilidade de encosta é aquela dos menores declives, de 0 a 2%, o que caracteriza a área de menor probabilidade de ocorrência de instabilidade. Esta classe marca presença com 17,66% do total da área, sendo mais marcante no entorno da rede de drenagem e próximo a foz, até desaguar no Lago Guaíba.

Hirata (1993), o risco de poluição de águas subterrâneas consiste na associação entre a vulnerabilidade natural do aquífero e a carga contaminante aplicada no solo ou em subsuperfície. A vulnerabilidade de um aquífero é a maior ou menor susceptibilidade de ser afetado por uma carga de contaminante.

Para tanto, a proteção dos aquíferos implica em uma especial preocupação, devido à dificuldade e a impraticabilidade de se promover à remoção dos poluentes de fontes pontuais de captação (poços) e ao fato de que a reabilitação de um aquífero poluído requer custo muito elevado, (FOSTER e HIRATA, 1991). Para Lobo Ferreira e Cabral (1991), a vulnerabilidade natural de um aquífero deve ser entendida como a sensibilidade que a qualidade das águas subterrâneas apresenta a uma carga de poluentes em função das características intrínsecas do aquífero.

Assim, a vulnerabilidade é resultado das características hidráulicas e físico-químicas do solo e/ou da rocha ou sedimento que compõe a zona não-saturada ou o aquífero e que permite a retardação, dispersão e degradação da carga contaminante antrópica (HIRATA e FERREIRA, 2001, p.47). Desta forma, a análise da vulnerabilidade dos poços tubulares constitui uma das formas mais adequadas de se avaliar a qualidade dos recursos hídricos subterrâneos. Além de “mostrar-se fundamental à tomada de decisões, direciona a escolha de áreas para realização de atividades potencialmente poluidoras, fornecem subsídios para a prevenção e reconhecimento de áreas mais sensíveis ou “frágeis” à contaminação assegurando qualidade a estas águas” (CORIDOLA *et al.*, 2005).

Para tanto, o mapeamento do índice de vulnerabilidade dos poços tubulares constitui-se útil por auxiliar na alocação de recursos e na priorização de atividades de monitoramento ambiental. Segundo Roisenberg *et al.*, (2002), as águas subterrâneas da região de Porto Alegre constituem uma alternativa viável de abastecimento de usuários individuais, cujas necessidades de consumo podem ser satisfeitas pelas vazões registradas nos poços do município, as quais são na ampla maioria, inferiores a 5,0 m³/h.

Neste contexto, na Figura 5.4 verifica-se que as fragilidades ambientais dos poços concentram entre média e alta vulnerabilidade, cujas fragilidades atribuídas em valores entre 188 e 255 bytes. Verifica-se, também que a maior parte da área de estudo concentra-se sobre alta fragilidade, em torno de 74,5%. Os valores mais elevados do índice de fragilidade se localizam no sul da bacia hidrográfica, junto à margem esquerda da bacia hidrográfica do arroio Capivara. Os de média fragilidade ambiental aproximam-se de 25% da área de estudo. Para tanto, cabe ressaltar que os poços apontados como mais frágeis, cujos valores atribuídos de 238 e 255 bytes, somam aproximadamente 6% do total da área.

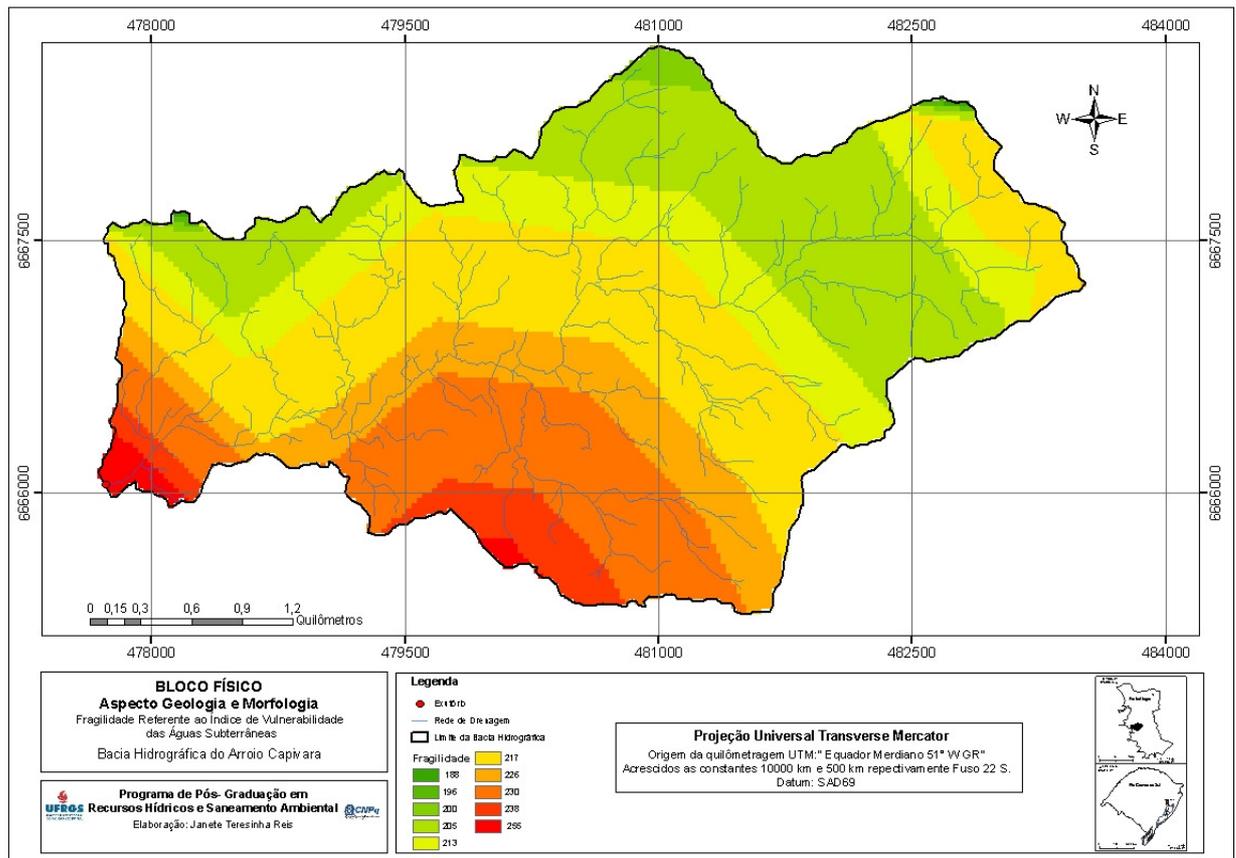


Figura 5.4 – Fragilidade ambiental das águas subterrâneas na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.

Estes poços carecem de cuidado quanto à qualidade da água e ao tipo de uso do solo urbano, tendo em vista que o risco de poluição da água pode limitar ou impossibilitar o uso para consumo humano.

5.1.1.5 Síntese do aspecto geologia/morfologia

As áreas sujeitas à instabilidade, ou as de maior fragilidade ambiental, quanto aos processos de origem geológica e morfológica encontram-se no entorno do curso de água principal, mais precisamente a montante da bacia hidrográfica e em declives acentuados (Figura 5.5).

A bacia hidrográfica apresenta, aproximadamente, 3% da área na categoria da maior fragilidade ambiental quanto ao aspecto geologia/morfologia, considerando os condicionantes naturais e intensificados pela ação antrópica. O cruzamento das variáveis determinou áreas de grande fragilidade que necessitam de monitoramento ambiental da paisagem. As áreas mais frágeis do mapa apresentam-se como áreas potencialmente frágeis a contaminação.

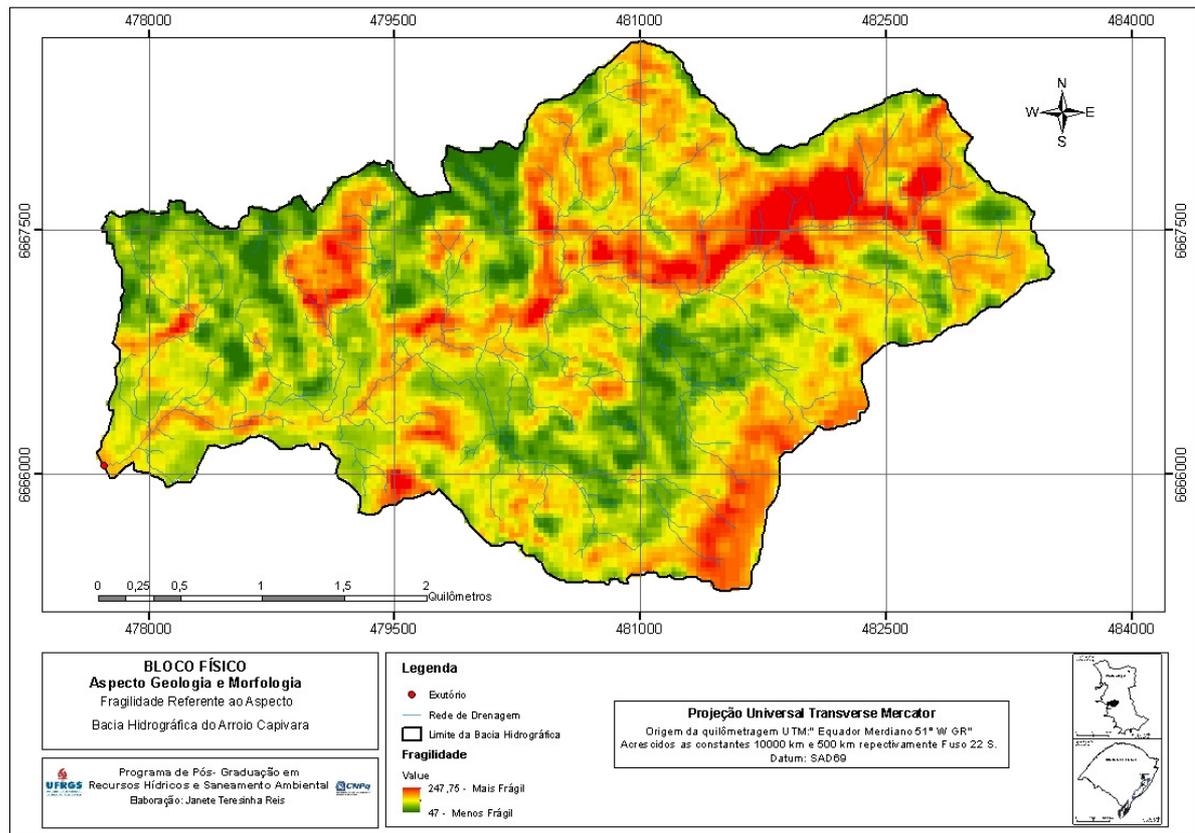


Figura 5.5 – Áreas de fragilidade potencial quanto à geologia e morfologia

Definir áreas onde o monitoramento deva ser executado, de maneira mais intensiva, pode prevenir uma possível contaminação, auxiliando no planejamento.

5.1.2 Aspecto contaminação das águas

Este aspecto aborda a inter-relação das variáveis da carga orgânica remanescente da população e da agricultura urbana, resultando no mapa síntese de fragilidade ambiental. Na tentativa de justificar este aspecto observa-se que o planeta Terra vem apresentando sinais de transição, como se a natureza estivesse acordando o homem para um novo sentido de vida.

Apesar da crescente conscientização da sociedade e de muitas relacionadas ao meio ambiente, existem pendências no que diz respeito à legislação ambiental atual, como o caso da deficiência na fiscalização e a falta de saneamento básico.

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5) sempre foi caracterizada como um dos principais parâmetros para se saber a qualidade da água. Para detemiar a qualidade da água a carga orgânica remanescente da população é um dos parâmetros de análise. Esta se caracteriza pela carga de poluentes de dejetos humanos, onde parte é retida através da fossa séptica, outra

parte em Vala negra, além dos que executam ligação direta dentro do Arroio, principalmente moradores das margens, contaminando diretamente as águas superficiais.

5.1.2.1 Carga orgânica remanescente da população

A demanda da carga orgânica remanescente das populações é proporcional à densidade populacional de cada setor censitário da bacia hidrográfica do arroio Capivara. Desta forma, a variável, apresenta como áreas mais frágeis às unidades censitárias próximas a foz, consideradas as mais densamente povoadas, não necessariamente os de maior população, mas sim onde a concentração da população é maior (Figura 5.6).

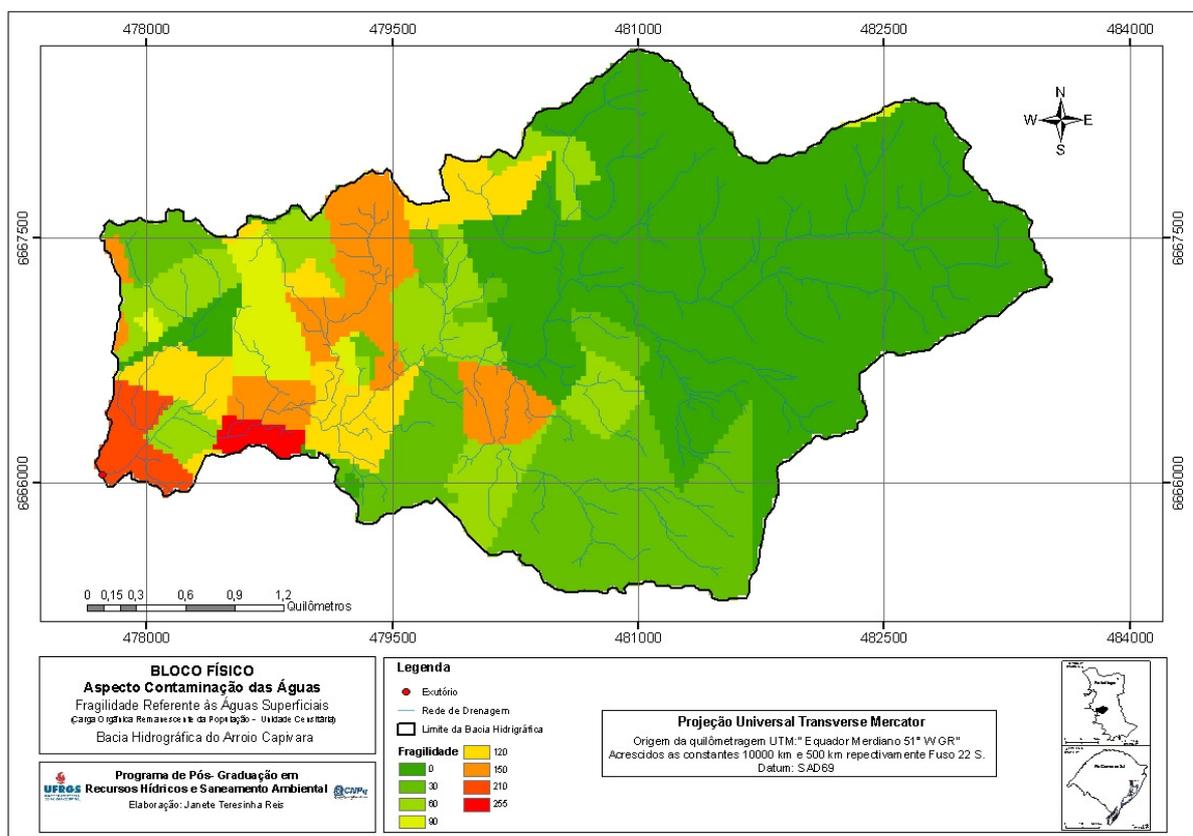


Figura 5.6 – Fragilidade ambiental da carga orgânica remanescente da população na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS

A maior fragilidade referente à carga orgânica remanescente da população se localiza da metade em direção da foz, na margem esquerda da bacia. Este fato, se deve grande parte a maior densidade populacional associada a pouco saneamento. Porém, as unidades censitárias de maior fragilidade ambiental representada pelo valor 255 bytes compreendem aproximadamente 1% da bacia.

A menor fragilidade da carga orgânica remanescente da população ocorre nas áreas menos povoadas, ou seja, a montante da bacia hidrográfica. Grande parte se deve aos declives

elevados que impossibilitam a ocupação urbana para fins de moradias, caracterizando áreas de instabilidade, quanto ao uso e ocupação para a urbanização. Esta área apresenta a menor fragilidade ambiental (0), participando com 47,49 % da bacia hidrográfica (Tabela 5.1).

Tabela 5.1 – As fragilidades ambientais da carga orgânica remanescente da população e o percentual de contribuição na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS.

Valores Atribuídos Fragilidades	Percentual (%)
0	47,49
30	19,25
60	11,8
90	3,34
120	6,99
150	8,26
210	2,03
255	0,84

A soma das classes de fragilidade com valores 210 e 255 corresponde aproximadamente 3% do total da área de estudo. Cabe ressaltar que, o maior percentual da bacia hidrográfica apresenta baixa fragilidade ambiental, o que demonstra que pode haver expansão urbana para outras áreas da bacia. Porém, este fato se confirma somente ao analisar todas as variáveis envolvidas neste estudo.

5.1.2.2 Agricultura urbana

A agricultura urbana refere-se aos espaços agrícolas dentro e ao redor das áreas urbanas, ou mesmo, espaços dentro das cidades que podem ter algum tipo de atividade agrícola. O desenvolvimento desta atividade exerce uma importante contribuição no futuro da sustentabilidade das cidades. Além da agricultura urbana desempenhar importante papel na modificação e na performance ecológica das cidades, se torna responsável pelo contraste da substituição de espaços para a produção de alimentos.

Entre as principais contribuições da agricultura urbana, se destacam três áreas fundamentais: bem-estar, meio ambiente e economia (MACHADO e MACHADO, 2002).

Pela análise, a atividade agrícola temporária caracterizada como a de maior fragilidade, concentra-se na parte central da bacia em estudo, e uma dispersão menor, representado pela agricultura permanente indica menor fragilidade ambiental (Figura 5.7).

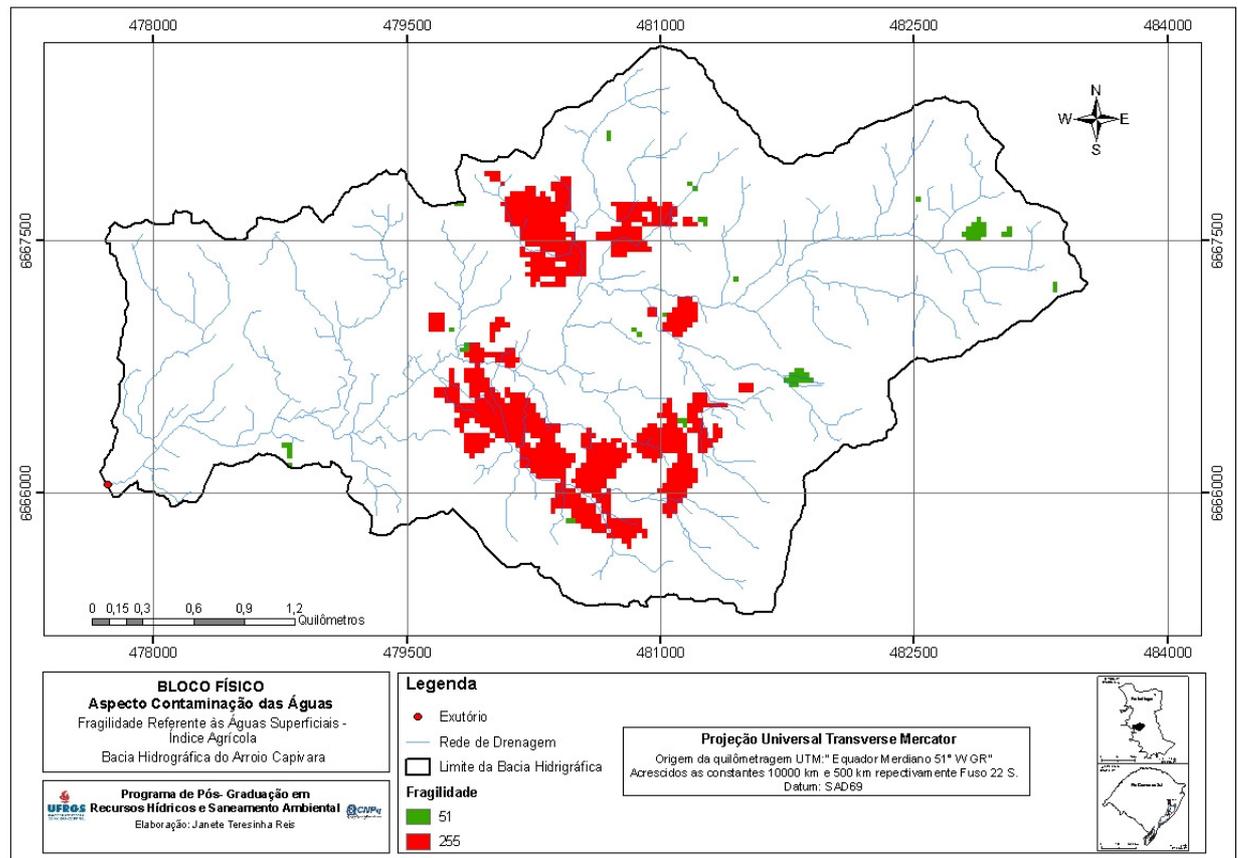


Figura 5.7 – Fragilidade ambiental da agricultura urbana na bacia hidrográfica do arroio Capivara, em Porto Alegre – RS.

Pela observação da paisagem infere-se que as culturas permanentes destinam-se principalmente ao cultivo da uva, pêssigo e ameixa. A produção agrícola temporária destina-se a alimentar as criações de frango e suínos. A agricultura urbana permanente é incipiente quando comparada com a agricultura temporária, o que determina maior parte da agricultura urbana de alta fragilidade, em torno de 8,2% e apenas 0,5% na produção de culturas permanentes.

Nas lavouras temporárias os agricultores utilizam mais pesticidas e fertilizantes do que nas lavouras de culturas permanentes, exceto em casos de produção ecológica. Este uso de pesticidas e fertilizantes pode resultar em acréscimos significativos de contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

5.1.2.3 Síntese do aspecto contaminação das águas superficiais

A intervenção antrópica nas águas superficiais urbanas pode ser intensa e decisiva. Em função da própria urbanização, pela produção de efluentes domésticos em grande quantidade, com elevada carga orgânica da população e de poluentes oriundos das atividades industriais,

que produzem efluentes com grande quantidade de metais pesados, reduzindo drasticamente a qualidade das águas superficiais. Como resultado identifica-se uma redução da qualidade de vida das populações nas bacias hidrográficas, que ficam extremamente expostas a doenças infecto-contagiosas. Os cursos de água que passam por centros urbanos, como é o caso do arroio Capivara, carregam em suas águas esgoto doméstico, esgoto sanitário, podendo inclusive carregar efluentes de pequenas indústrias e agrotóxicos oriundos das lavouras.

Com relação à contaminação das águas superficiais na área de estudo, existe uma fragilidade maior na porção central e na foz da bacia hidrográfica, devido a falta de saneamento básico, bem como ao uso de técnicas agrícolas inadequadas e a problemas de desmatamento atrelados aos problemas vinculados ao índice de urbanização (Figura 5.8).

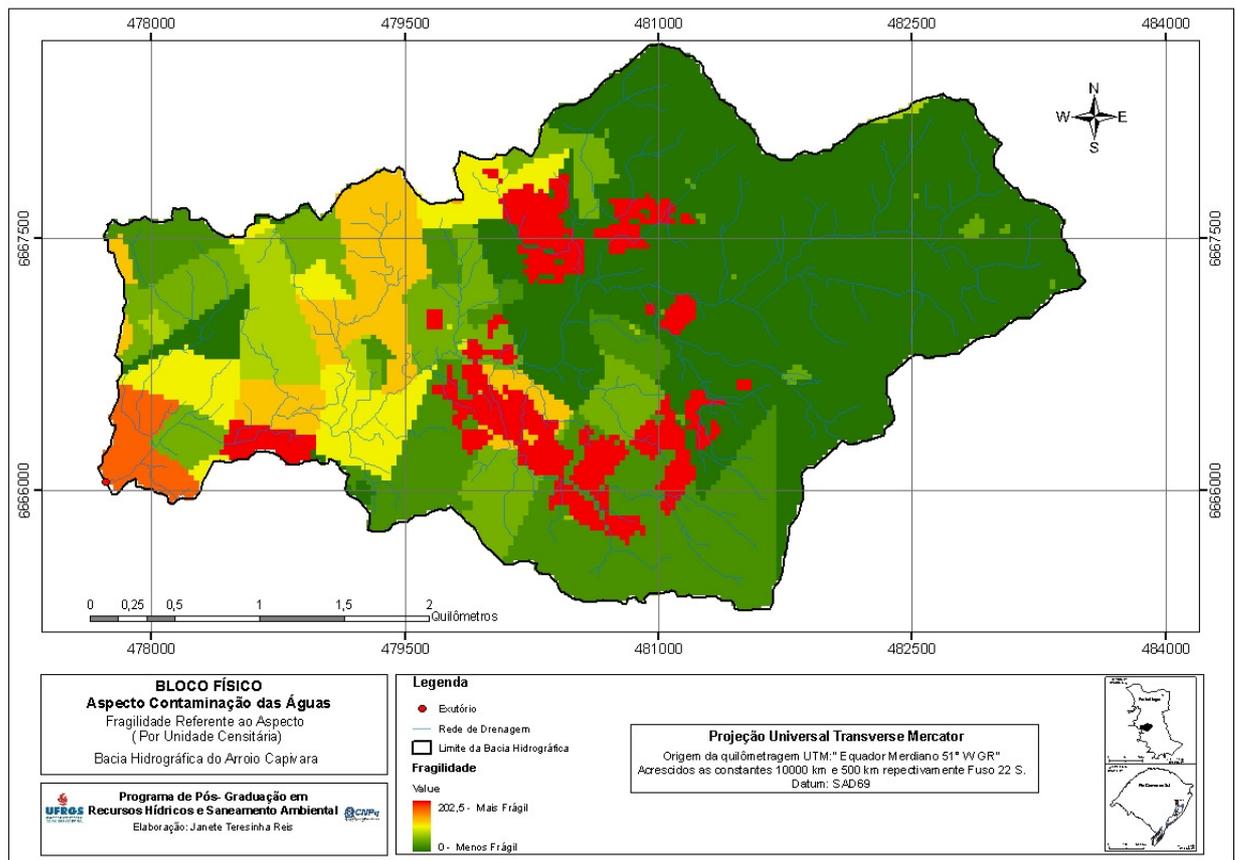


Figura 5.8 – Fragilidade ambiental da contaminação das águas superficiais na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS

Já na porção leste (a montante da bacia hidrográfica), a fragilidade é baixa pelas próprias características da área, com baixo índice agrícola e as áreas cultivadas constituem-se por lavouras permanentes que reduz em cinco vezes a aplicação de defensivos agrícolas. Na porção central se observa áreas agrícolas com culturas temporárias, algumas pouco

significativas com plantio direto, uma técnica de manejo do solo considerada eficiente no controle da erosão hídrica do solo. Para Barriuso *et al.*, (1996), cerca de 20% da quantidade dos agrotóxicos usados como tratamento profilático de plantas, podem alcançar as águas superficiais. Sendo assim, a transferência de moléculas de agrotóxicos dos ecossistemas terrestres aos aquáticos é uma constante, sobretudo em áreas agrícolas devido ao uso de quantidades elevadas e de tipos diferentes de princípios ativos por área, aliado às taxas de erosão do solo (BORTOLUZZI, 2004; LINS *et al.*, 2001).

5.1.3 Aspecto estabilidade de encostas

Este aspecto refere-se à análise integrada das variáveis da morfologia, geologia e declividade. Porém, a declividade segundo as normas do IPT, (1981).

5.1.3.1 Morfologia

As formas de relevo côncavo, convexo e retilíneo podem ser observadas em toda as classes de declividades. A área menos frágil da bacia hidrográfica concentra-se próximo ao canal principal da parte central em direção a foz (Figura 5.9).

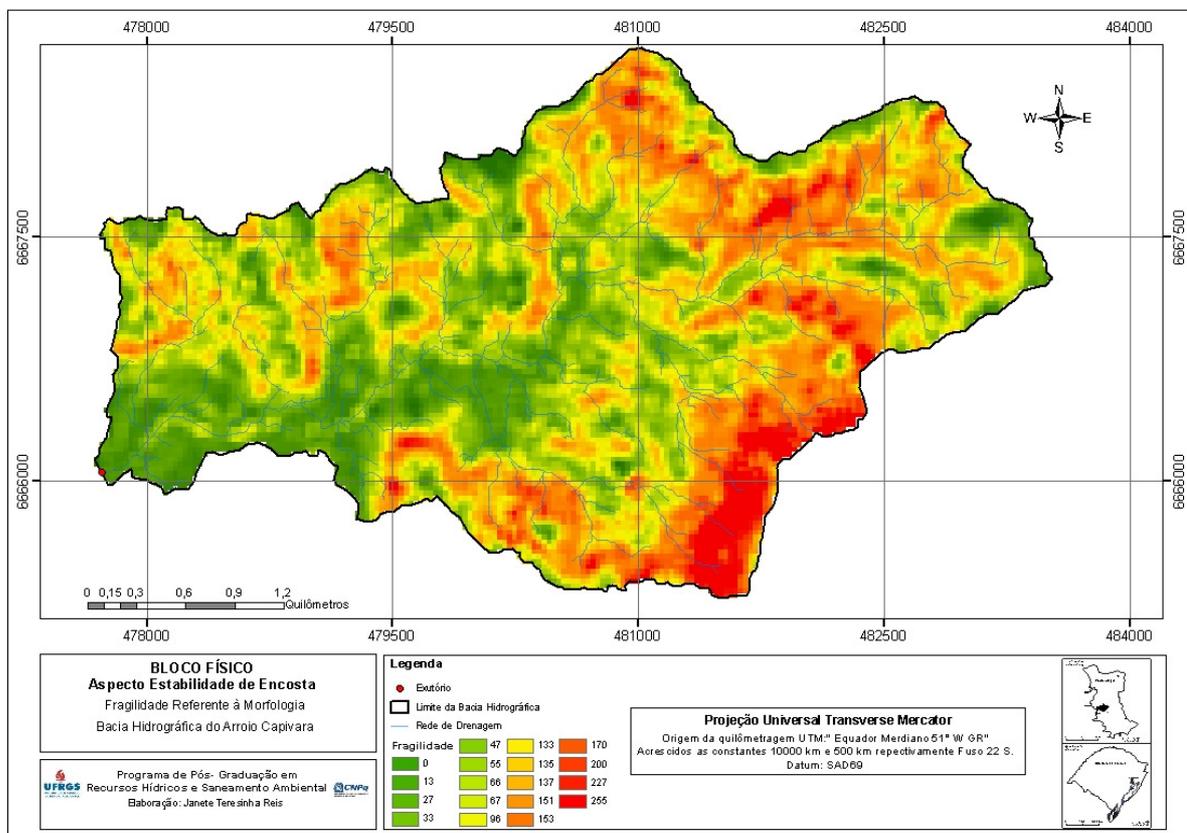


Figura 5.9 – Fragilidade ambiental da morfologia na bacia hidrográfica do arroio Capivara, em Porto Alegre – RS

Considerando o desnível em direção a base, na parte central do relevo côncavo pode ser observado o maior potencial de energia atuante. Para tanto, a maior fragilidade ambiental quanto a morfologia encontra-se próxima e nos morros graníticos, registrado pelo valor 255 bytes. Já em solos com formas de relevo de menor amplitude, mesmo sendo côncava, a fragilidade é menor, podendo ser observadas nas colinas da área de estudo (Figuras, 5.10 e 5.11).



Figura 5.10 - Relevo: côncavo e convexo.
Trabalho de Campo: 09-02-2010



Figura 5.11 – Forma de relevo convexo.
Trabalho de Campo: 09-02-2010

As formas de relevo, nas mesmas declividades receberam fragilidades diferentes, tendo em vista que a ação erosiva atua de forma diferente. Em relevos côncavos com declividade de 0 a 2% a fragilidade é maior do que em relevos retilíneos e convexos na mesma declividade, justamente porque a energia potencial atuante, nos últimos citados, é menor (Tabela 5.2).

Tabela 5.2 – Formas do relevo nas diferentes classes de declividade e valores de fragilidades atribuídas.

Morfologia (formas do relevo)	Classes de declividade	Valores Atribuídos Fragilidades
Côncavo	0-2%	55
	2-5%	96
	5-10%	137
	10-20%	153
	20-30%	170
	>30%	255 (>Fragilidade) ⁸
Retilíneo	0-2%	27
	2-5%	47
	5-10%	67
	10-20%	135
	20-30%	151
	>30%	227
Convexo	0-2%	0 (< fragilidade)
	2-5%	13

⁸ Indica a máxima fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Arroio capivara para esta variável.

5-10%	33
10-20%	66
20-30%	133
>30%	200

Em declividades superiores a 30%, as diferentes formas de relevo obtiveram fragilidades variadas: em relevo côncavo a fragilidade atribuída foi a máxima, de 255 bytes, seguido por relevo retilíneo com o valor de 227 e convexo com o valor de 200, sempre levando em consideração a fragilidade em relação à atuação dos processos naturais sobre as formas de determinado relevo.

A inclinação e o comprimento das encostas, também interferem na velocidade de escoamento das águas superficiais. Desta forma, resulta em maior efetividade dos processos erosivos e conseqüentemente apresentam maior fragilidade sobre o ambiente. “As formas das vertentes, côncava, convexa e/ou retilínea, definem o tipo de escoamento das águas pluviais, sendo que as encostas de contorno convexo, geralmente são distribuidoras de água, enquanto que as encostas de contorno côncavo são coletoras de água” (PIRES NETO e WEILL, 2007, p.42).

O movimento descendente da água favorece o transporte e a deposição de sedimentos, bem como o assoreamento de áreas deprimidas. Desta forma, os diferentes tipos de relevo desprotegidos de vegetação auxiliam na remoção, transporte e deposição de sedimentos das encostas para as partes mais planas.

5.1.3.2 Geologia

A maior fragilidade é encontrada no grupo dos materiais inconsolidados caracterizados pelos depósitos aluviais, representadas pela cor vermelha do mapa (Figura 5.12). Esta formação se concentra no entorno do curso principal da bacia hidrográfica conforme já enfatizado no Capítulo 5 na página 117.

No grupo representado pelas rochas mais duras, o granito Viamão foi considerado o mais frágil, por apresentar uma estrutura intemperizada que facilita a infiltração de água tornando-o, portanto, o mais frágil entre os granitos. Fujimoto (2005) descreve que esse granito apresenta uma série de características, sobretudo texturais e estruturais, que o identificam como uma rocha com facilidade para percolação de águas e, propicia a intensificação dos processos de intemperismo, e sobretudo de entalhamento fluvial, o que condiciona a formação do relevo. Seguindo este raciocínio, o granito Viamão caracteriza-se

como o mais frágil, seguido do granito Santana e de menor fragilidade o granito Ponta grossa, ao qual foi atribuído o valor zero por ser o menos frágil na área de estudo.

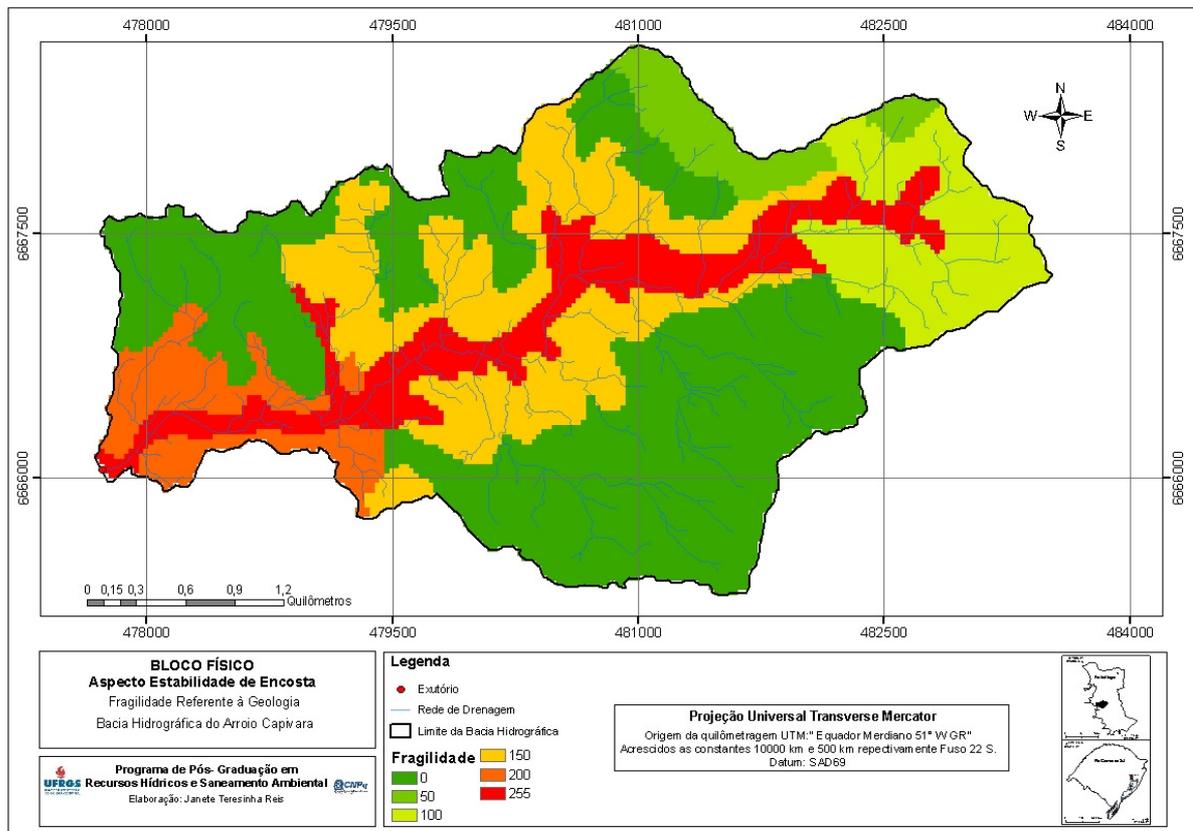


Figura 5.12 – Fragilidade ambiental da geologia na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS

De modo geral, as rochas sedimentares podem ser caracterizadas como mais frágeis, por serem depósitos inconsolidados e ainda não formaram uma rocha dura, enquanto que as ígneas e metamórficas apresentam maior resistência e, portanto, são consideradas rochas mais duras, mais resistentes a atuação dos processos naturais e antrópicos.

5.1.3.3 Declividade

Na bacia hidrográfica do arroio Capivara a maior fragilidade ambiental ocorre na declividade superior a 15%, localizados nas partes mais elevadas, junto aos morros graníticos (Figura 5.13). A menor fragilidade para estabilidade de encosta ocorre nas menores declividades, de 0 a 2%, o que caracteriza em termos gerais, áreas de menor probabilidade de instabilidade, nesta amplitude.

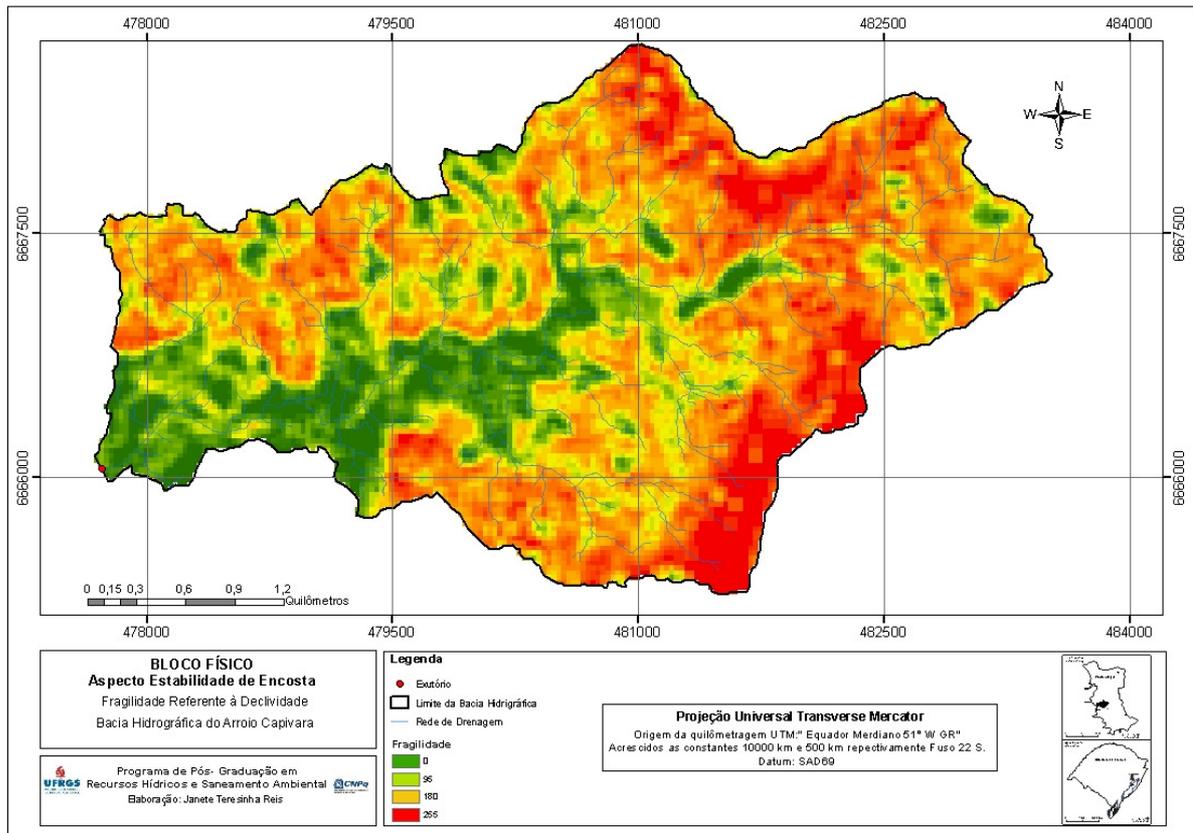


Figura 5.13 – Fragilidade ambiental da declividade na bacia hidrográfica do arroio Capivara, em Porto Alegre – RS.

As declividades mais susceptíveis a instabilidade da encosta permeiam as maiores altitudes, facilitando a atuação de escoamentos superficiais, bem como a ação erosiva, permitindo o carreamento de partículas de solo para as partes mais baixas da bacia hidrográfica e dentro do leito fluvial.

Segundo Dutra (2011), os principais elementos geométricos de uma encosta são: inclinação, declividade, amplitude e perfil. Além destes fatores, a ação antrópica atua intensificando a atuação potencial da energia sobre o relevo. Esta atuação se intensifica sobre relevos mais inclinados desprotegidos de vegetação, acelerando a ação erosiva e o transporte do material erodido até a drenagem fluvial.

De acordo com o IPT (1981) a faixa de 15% já define o limite máximo para o emprego da mecanização na agricultura, e apresenta áreas propícias à ocorrência de processos de movimentos de massa e escorregamentos. Para tanto, o processo de atuação dos agentes erosivos tendem a se intensificar a partir deste desnível, podendo ocasionar movimentos de massa, e escorregamentos, em terrenos com condições favoráveis para sua ocorrência.

5.1.3.4 Síntese do aspecto estabilidade de encosta

As encostas constituem uma forma de relevo complexa, caracterizada por uma acentuada fragilidade natural, que sob a interferência humana pode sofrer a aceleração de processos erosivos e escorregamentos. A maior fragilidade ambiental quanto à estabilidade de encosta, encontra-se próximo do curso fluvial e em declives acentuados da parte central em direção a montante da bacia hidrográfica (Figura 5.14). A ocupação desordenada do ambiente provoca a alteração da paisagem e propicia a fragilidade ambiental colocando em risco a própria vida do ser humano.

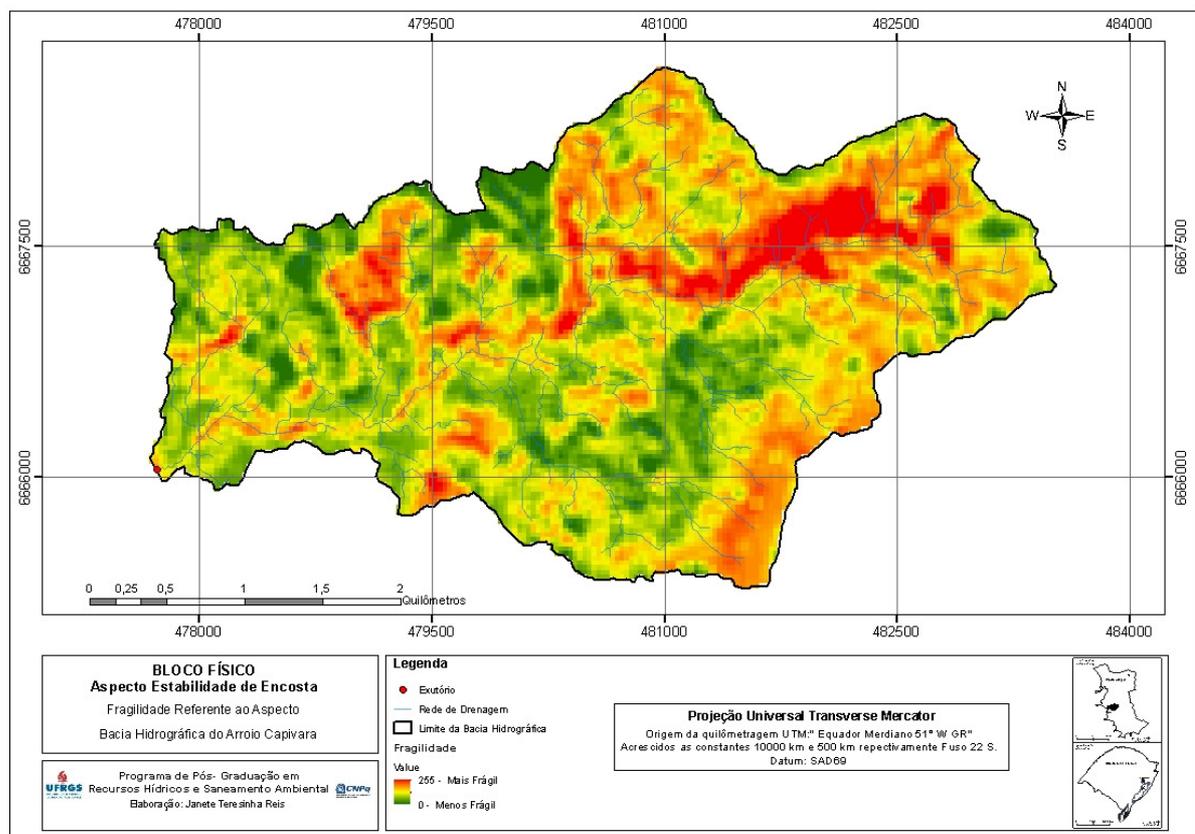


Figura 5.14 – Síntese das áreas de fragilidade quanto à estabilidade de encosta

Os movimentos de massa estão ligados à alteração do equilíbrio que é controlado, principalmente, pelo teor de umidade do solo e pela estrutura das argilas, assim como pela associação de fatores como a estrutura geológica, características dos materiais envolvidos, morfologia do terreno (declividade, formas das encostas) e formas de uso do solo. Na área de estudo, a margem direita da bacia hidrográfica apresenta maior percentual de áreas com alta fragilidade, ocasionando instabilidade da encosta. Este fato indica que, existe maior probabilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa na margem direita da

bacia, que podem ser agravadas pela urbanização e pelas edificações construídas em encostas, alterando a paisagem natural do ambiente.

5.1.4 Aspecto risco de inundação

Este aspecto refere-se à análise integrada das variáveis: declividade, ordem dos cursos d'água, forma das sub-bacias e índice de impermeabilidade.

5.1.4.1 Declividade

O rio possui sua área natural de inundação e quando o homem ultrapassa os limites das condições naturais do meio em que vive, cheias e inundações passam a ser um problema social, econômico e/ou ambiental, tornando-se uma área de grande fragilidade ambiental.

Na bacia hidrográfica do arroio Capivara a maior fragilidade ambiental ocorre na declividade de 0 a 2%, localizados na parte central, junto ao curso principal de água (Figura 5.15). Para o IPT (1981) 0 a 2% caracterizam áreas muito planas, e quando próximas às drenagens, estão sujeitas à ocorrência de inundação.

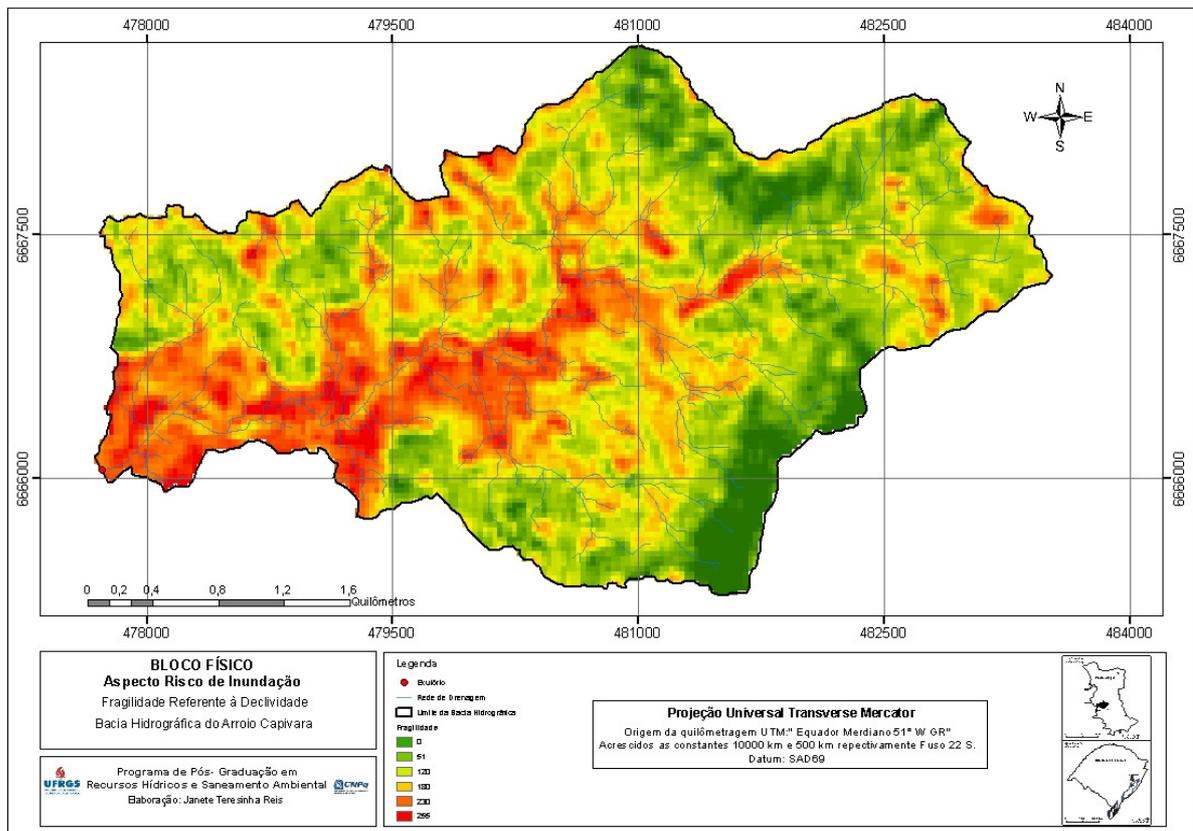


Figura 5.15 – Fragilidade ambiental da declividade na bacia hidrográfica do arroio Capivara, em Porto Alegre – RS

A inundação torna-se um evento de danos quando a área inundável   ocupada por constru es residenciais, ou qualquer uso inadequado permitindo que a água que extravasa do seu leito normal os atinge. Quanto maior a declividade menor fragilidade para ocorrência de inunda o. Para tanto, as declividades igual ou superiores a 30% encontradas na área de estudo são as menos frágeis.

As áreas mais frágeis ocorrem aproximadamente em 17% da bacia hidrográfica. Estas apresentam grande potencial   ocorrência de inunda o e, aproximadamente 10% da área apresenta menor fragilidade ambiental. Portanto, quanto menor a declividade, maior a probabilidade de ocorrer extravasamento do leito fluvial natural.

5.1.4.2 Ordem dos cursos de  gua

A altura máxima de inunda o por ordem dos cursos de água consiste na quarta ordem, caracterizada pelo valor da fragilidade de 255, ou seja, esta ordem apresenta o maior potencial para inunda o e conseqüentemente a mais frágil (Figura 5.16).

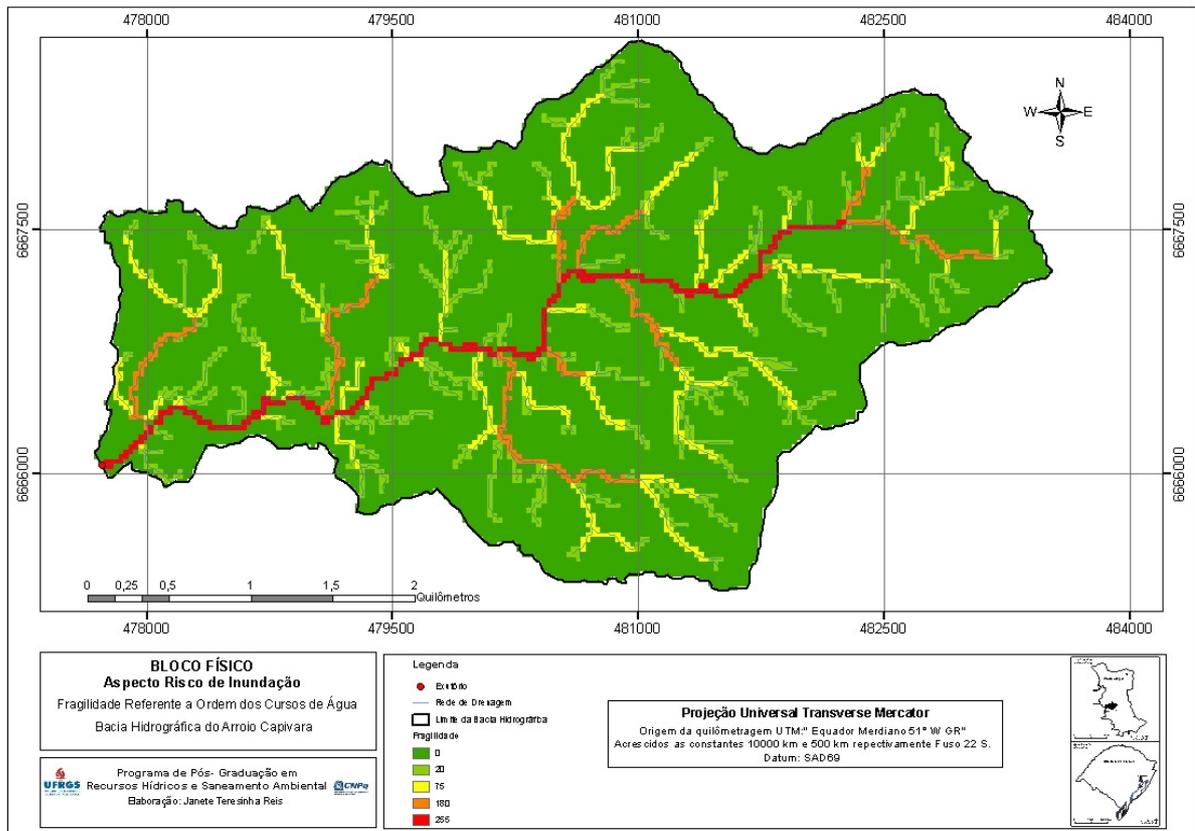


Figura 5.16 – Ordenamento da fragilidade dos cursos de água para risco de inunda o

Aos cursos de água de terceira ordem atribuiu-se a nota 180, por caracterizar segmentos de rio de segunda maior pontuação. Os cursos de água de primeira ordem receberam valor 0 (zero) por representarem áreas menos susceptível à ocorrência de inundação. Estas áreas são menos frágeis, por acumularem menor volume de água nos canais ordenados. Porém, não se descarta a possibilidade de ocorrer inundação isolada em canais de primeira ordem.

5.1.4.3 Forma das sub-bacias

A forma da bacia é um indicador importante à ocorrência de inundação, quanto mais circular a sub-bacia, maior a probabilidade de este evento ocorrer. A forma circular retarda o escoamento da água, permitindo que grande parte da água acumulada na bacia chegue ao exutório ao mesmo tempo, facilitando o transbordamento da água, pela intensidade do fluxo. Desta forma, quanto mais o valor encontrado se afastar da unidade circular, menor a probabilidade de ocorrer inundação.

Levando em consideração a forma das sub-bacias, a maior fragilidade ambiental encontra-se na sub-bacia B22, a mais propícia para ocorrência de inundação e a menos susceptível a sua ocorrência, bem como menos frágil a sub-bacia B11 (Figura 5.17).

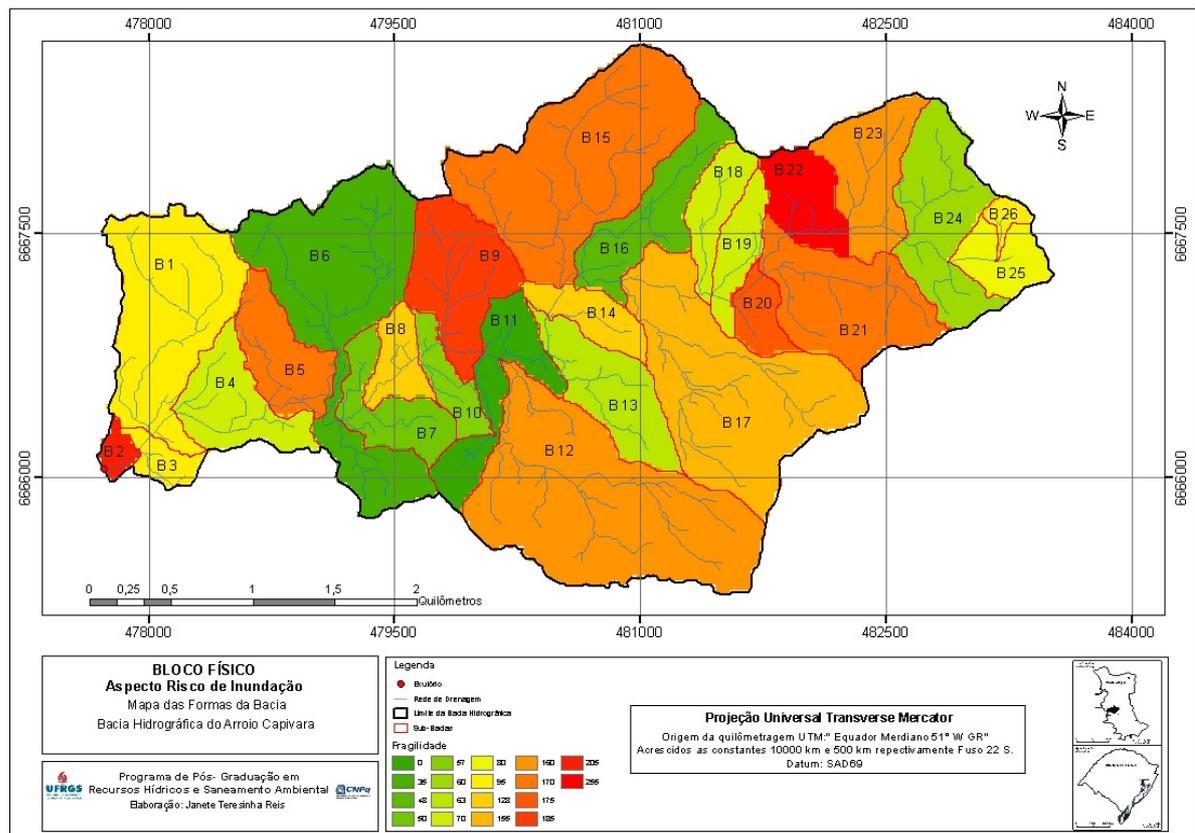


Figura 5.17 - Potencial de fragilidade segundo a forma das sub-bacias de contribuição lateral da área de estudo, Porto Alegre – RS

5.1.4.4 Índice de impermeabilidade

A menor fragilidade, quanto ao índice de impermeabilidade, encontra-se a montante da bacia hidrográfica, somente 1,15% da sub-bacia (B25) está urbanizada, configurando-se na sub-bacia de menor percentual de taxa de urbanização.

A maior fragilidade ambiental é encontrada na sub-bacia B3, onde toda a sub-bacia encontra-se urbanizada (100%). Outra sub-bacia que apresentou alto índice de urbanização foi a B2, onde 87% encontram-se urbanizadas e o valor de fragilidade atribuída foi de 222 bytes (Figura 5.18).

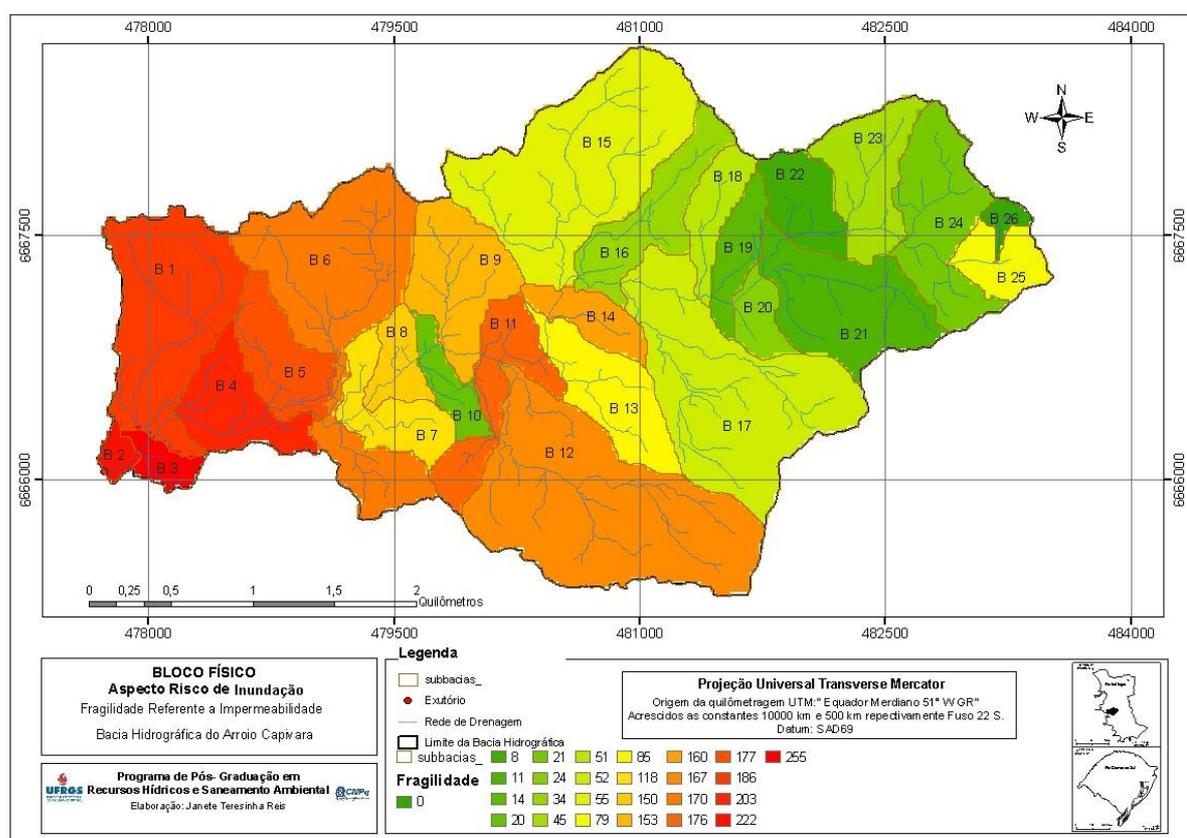


Figura 5.18 – Fragilidade ambiental segundo o índice de impermeabilidade na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS

A urbanização impermeabiliza os solos provocando aumento dos volumes de águas escoados superficialmente, aumento da velocidade do escoamento e redução do tempo de resposta da bacia. “Uma bacia urbanizada pode apresentar um tempo de resposta de 5 a 20 vezes menor do que uma bacia natural” (PINHEIRO, 2007). Esta redução do tempo de resposta torna a bacia mais sensível às precipitações mais curtas, as quais na maioria das vezes são mais intensas. A expansão dos espaços urbanos, com a implantação de zonas impermeáveis, tende a agravar a situação e favorecer a ocorrência de inundação.

5.1.4.5 Síntese do aspecto risco de inundação

Em síntese, observa-se que a maior fragilidade ambiental encontra-se nas declividades mais baixas, na parte central junto à rede de drenagem principal (Figura 5.19).

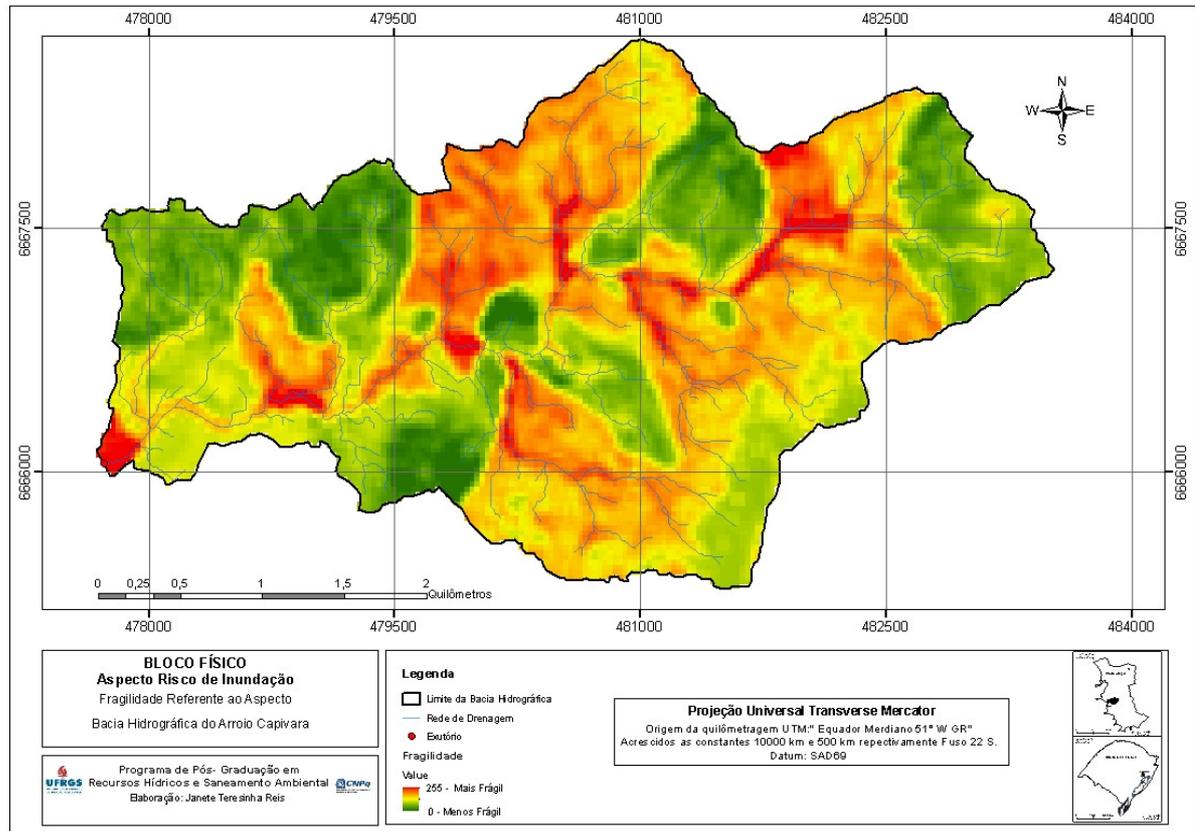


Figura 5.19– Síntese das áreas de fragilidade potencial para ocorrência de inundação na área de estudos

As áreas mais frágeis e que apresentam maior potencial à ocorrência da inundação, estendem-se ao longo do canal principal da bacia hidrográfica do arroio Capivara. Assim como, a sub-bacia de maior probabilidade de inundação é a B22, uma vez que esta apresenta a forma mais circular entre as analisadas.

Cabe salientar que, outro ponto de alta fragilidade com potencial a ocorrência de inundação encontra-se na foz. Tal fato se deve ao acúmulo de água em direção ao exutório e ao índice de impermeabilidade em direção a foz por favorecer o escoamento rápido de água, além de ser uma área plana e apresentar também sub-bacia em forma circular.

A ocorrência de uma inundação é o resultado de vários fatores de interferência, tanto na formação dos escoamentos, como na sua propagação ao longo da bacia de contribuição. Toda a área de drenagem situada a montante contribui com o volume de água escoada em uma seção transversal do rio.

A alta declividade das vertentes e os cursos de água reduzem o tempo de resposta da bacia hidrográfica na ocorrência das precipitações, gerando vazões importantes a jusante. A velocidade do escoamento é igualmente proporcional a declividades. Quanto maior a declividade maior a velocidade, além de maior a capacidade destrutiva dos escoamentos. Por outro lado, as menores declividades são receptoras do volume de água escoado, e se processa em direção a foz favorecendo o assoreamento, transbordamento e a ocorrência de inundação.

A ação antrópica pode potencializar a ocorrência de inundação, tendo em vista que os fatores naturais são relativamente estáveis, mas os fatores induzidos pelo homem podem ser alterados no tempo e no espaço, inclusive podem ampliar a frequência de sua ocorrência. Portanto, planejamento e intervenções adequadas na bacia hidrográfica podem reduzir os riscos de ocorrência de inundações, diminuindo os danos materiais e humanos.

5.1.5 Fragilidade a erosão

Esse aspecto foi construído como um indicador dos possíveis impactos referentes ao transporte de sedimentos dos solos aos leitos dos rios, bem como, as áreas menos sujeitas a ação erosiva passíveis de ocupação urbana. Para determinar a síntese da fragilidade erosiva realizou-se à sobreposição das variáveis do solo, entorno dos cursos de água e da declividade.

5.1.5.1 Solos

A fragilidade do solo, ou a erodibilidade corresponde à vulnerabilidade do solo à ocorrência de erosão. As diferenças nos atributos físicos e químicos explicam, em muitos casos, o fato de alguns solos erodirem mais que outros, mesmo estando expostos a uma mesma condição ambiental. Na bacia hidrográfica do arroio Capivara o solo de maior fragilidade ambiental é a associação de Planossolos Hidromórficos, Gleissolos Hápicos e Plintossolos Argilúvicos, localizados na área central, os quais podem ser caracterizados os mais susceptíveis ao potencial erosivo (Figura 5.20).

Os solos que apresentam menor fragilidade ambiental são as associações de Cambissolos Hápicos com Neossolos Litólicos ou Neossolos Regolíticos, localizados em altitudes elevadas. Caracterizando-se, portanto, mais resistentes a ação erosiva. Por outro lado, os solos mais frágeis a ação da erosão permeiam grande parte da drenagem do leito principal, o que facilita o carreamento de partículas de solo para dentro do leito fluvial principal. Esta formação totaliza 61% da área de estudo. As demais fragilidades foram proporcionais entre as classes de maior e menor resistência a ação erosiva.

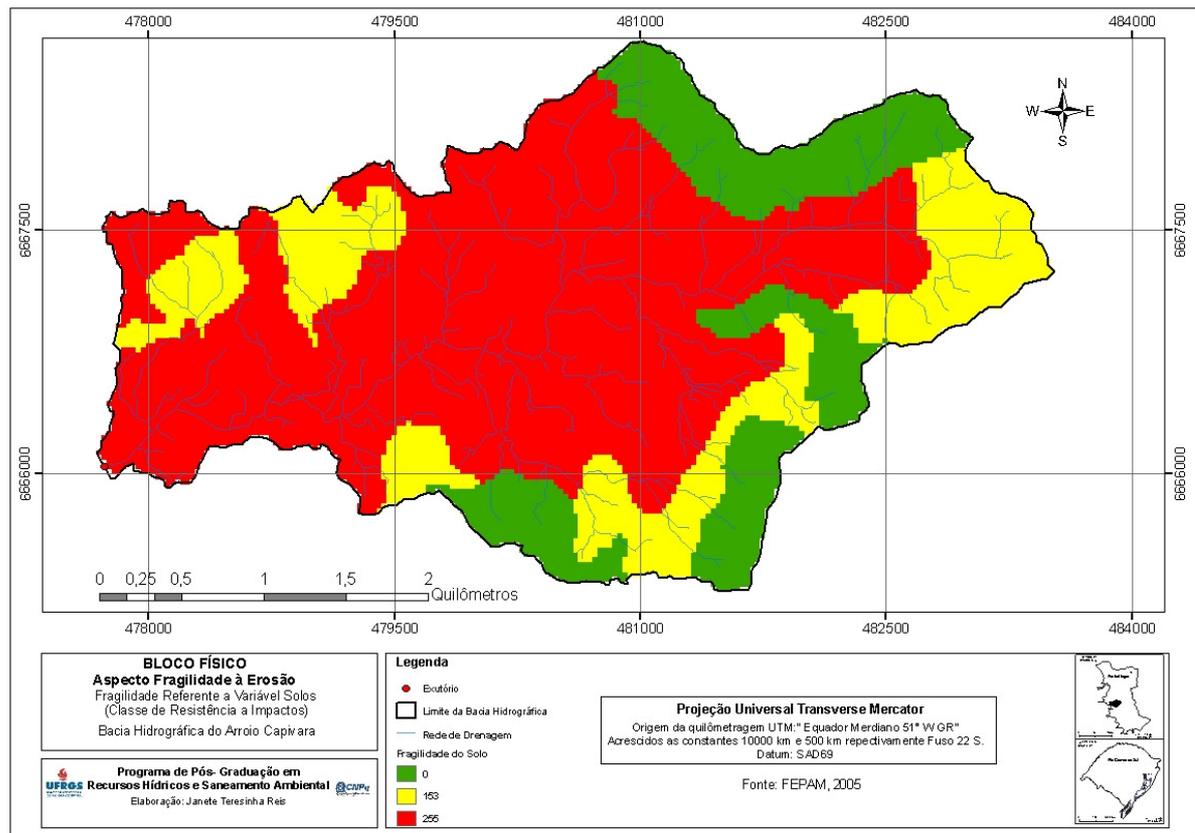


Figura 5.20 – Potencial de fragilidade ambiental do solo na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS

Cabe destacar que, as classes de solos possuem resistência variada aos impactos ambientais positivos ou negativos. Isso em virtude da profundidade, textura, gradiente textural, drenagem, lençol freático, lençol suspenso, risco de inundação, suscetibilidade à erosão, relevo, declividade, aptidão agrícola e tipo de argilomineral (GIASSOM *et al.*, 2005).

A relação entre o solo e os processos erosivos está associada com sua maior ou menor resistência a ação das águas. Desta forma, um solo em relação ao outro pode apresentar alta ou baixa erodibilidade, dependendo das características naturais e estruturais do solo. Esta relação depende da interação de vários atributos edáficos.

Dentre os atributos do solo que afetam sua erodibilidade, e conseqüentemente, sua suscetibilidade ao processo erosivo pode-se destacar: a granulometria, a estrutura e agregação dos horizontes superficiais, a capacidade de infiltração e de retenção de água no solo, a permeabilidade ou velocidade de transmissão de água no perfil, o teor de matéria orgânica e a espessura ou profundidade.

Considerando que a ocorrência de erosão acelerada, em determinada área, gera um aumento na produção de sedimentos, toda a unidade próxima dos cursos de água pode ser considerada propensa (natural) à erosão e à disponibilidade de materiais facilmente erodíveis.

5.1.5.2 Entorno dos cursos d'água

A maior fragilidade ambiental encontra-se de 0 a 30 metros dos cursos de água, uma vez que esta área está mais propícia a ação erosiva. Portanto, próximo e nas margens dos cursos d'água ocorre o constante solapamento da água acelerando o processo de erosão do solo, até o assoreamento do leito principal. Assim, a distância de 0 a 30 metros do leito dos cursos d'água foram consideradas as áreas mais frágeis a ação erosiva (Figura 5.21).

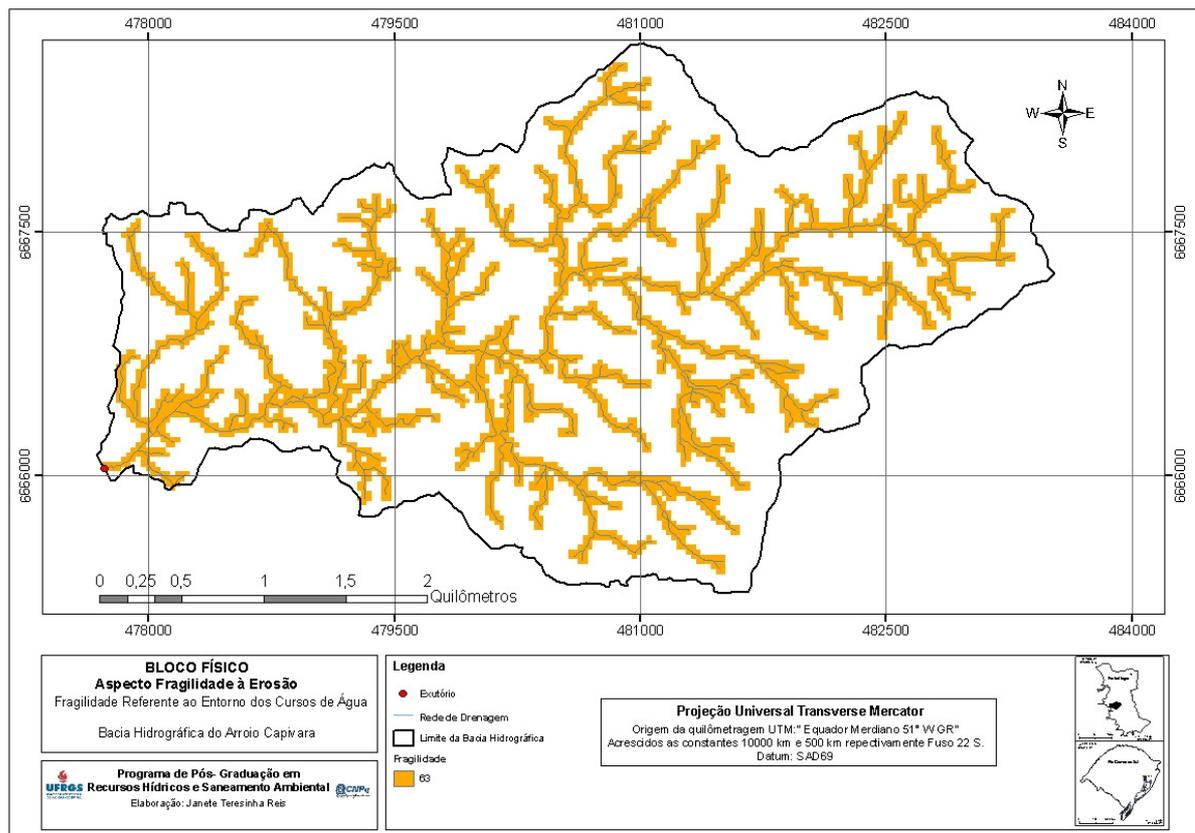


Figura 5.21 - Potencial de fragilidade do entorno dos cursos d'água na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS

O papel do relevo no processo erosivo está relacionado à sua amplitude e a inclinação das encostas, que são atributos que caracterizam diferentes tipos de relevo da superfície terrestre, (colinas, morrotes, morros, montanhas, chapadas, etc). Enquanto, as declividades mais elevadas podem auxiliar na evolução dos processos erosivos.

5.1.5.3 Declividade

Na área de estudo a declividade com maior fragilidade encontra-se no limite igual ou superior a 30%, localizada junto aos morros graníticos, pois quanto maior a declividade maior e mais acelerado o processo erosivo, conforme já enfatiza no aspecto anterior (Figura 5.22).

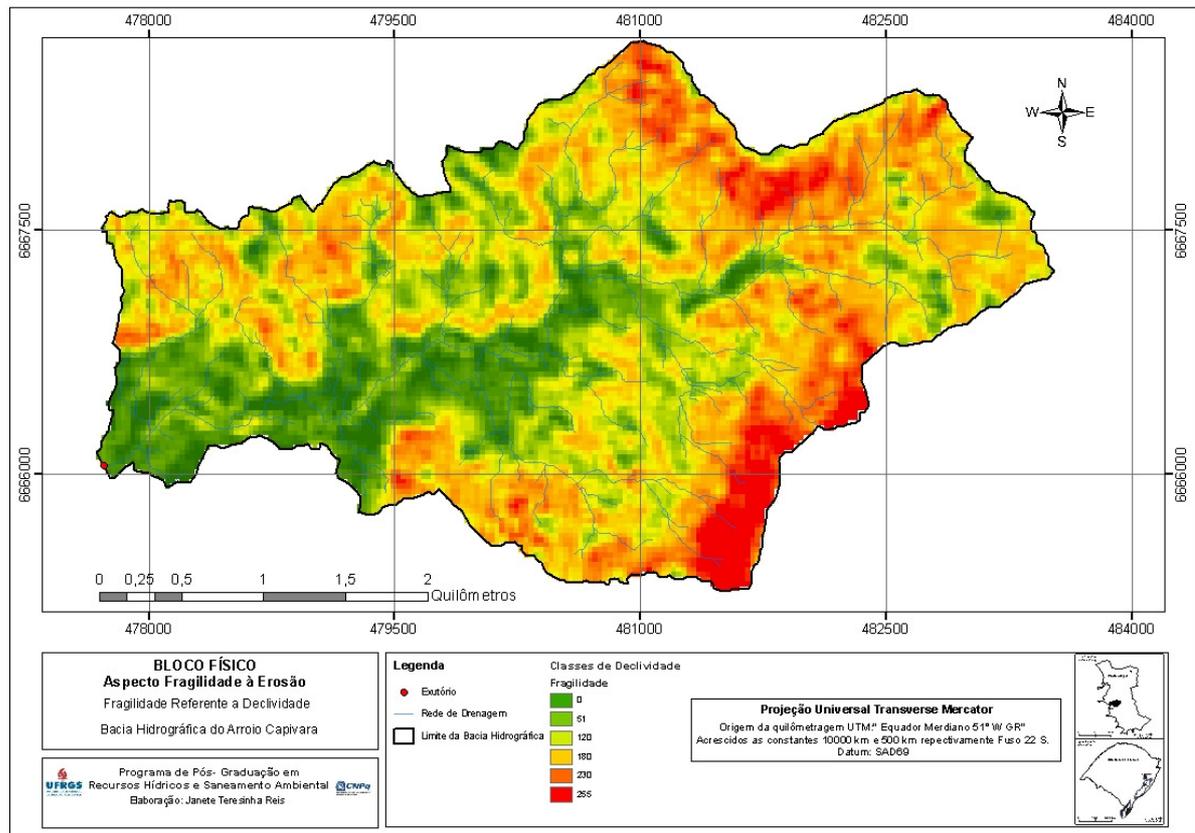


Figura 5.22 - Potencial de fragilidade da declividade na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS

Em contra partida, a menor declividade, ou seja, a parte mais plana encontra-se junto à rede de drenagem. A classe de 0 a 2%, caracteriza-se pelo menor valor, ou a menor fragilidade ambiental. A área de menor resistência, também considerada de maior fragilidade ambiental, encontra-se na declividade igual ou superior a 30%.

As áreas consideradas mais susceptíveis a fragilidade encontram-se nas maiores declividades, dada à facilidade na qual os solos são removíveis das partes mais elevadas em direção as mais baixas. Embora os solos apresentem alguma resistência ao processo de erosão hídrica, a declividade pode auxiliar neste processo.

Segundo IPT (1981), as erosões em encostas ocupadas ocorrem, geralmente devido às ações humanas, conhecidas como erosões antrópicas. Estas ações são decorrentes, basicamente, da alteração da superfície do terreno natural, em virtude da retirada da vegetação e a exposição dos solos, tornando-os mais susceptíveis à erosão. Uma das características básicas da erosão é a velocidade em que ocorre este processo, podendo ser lento, mas de maneira contínua e progressiva, evoluindo de pequenos sulcos para grandes ravinas. Esta condição permite uma correção mais fácil e de menor custo, quando solucionada na sua fase

inicial, mas pode se tornar complexa e onerosa à medida que o problema vai evoluindo. Como principais causas das erosões antrópicas destacam-se: a remoção da vegetação; a concentração de águas pluviais; a exposição de terrenos susceptíveis à erosão; e a execução inadequada de aterro.

5.1.5.4 Síntese do aspecto fragilidade a erosão

As áreas potenciais a erosão, ou seja, as de maior fragilidade ambiental encontram-se próximo do curso de água principal e em declives elevados, alguns desprotegidos de cobertura vegetal (Figura 5.23).

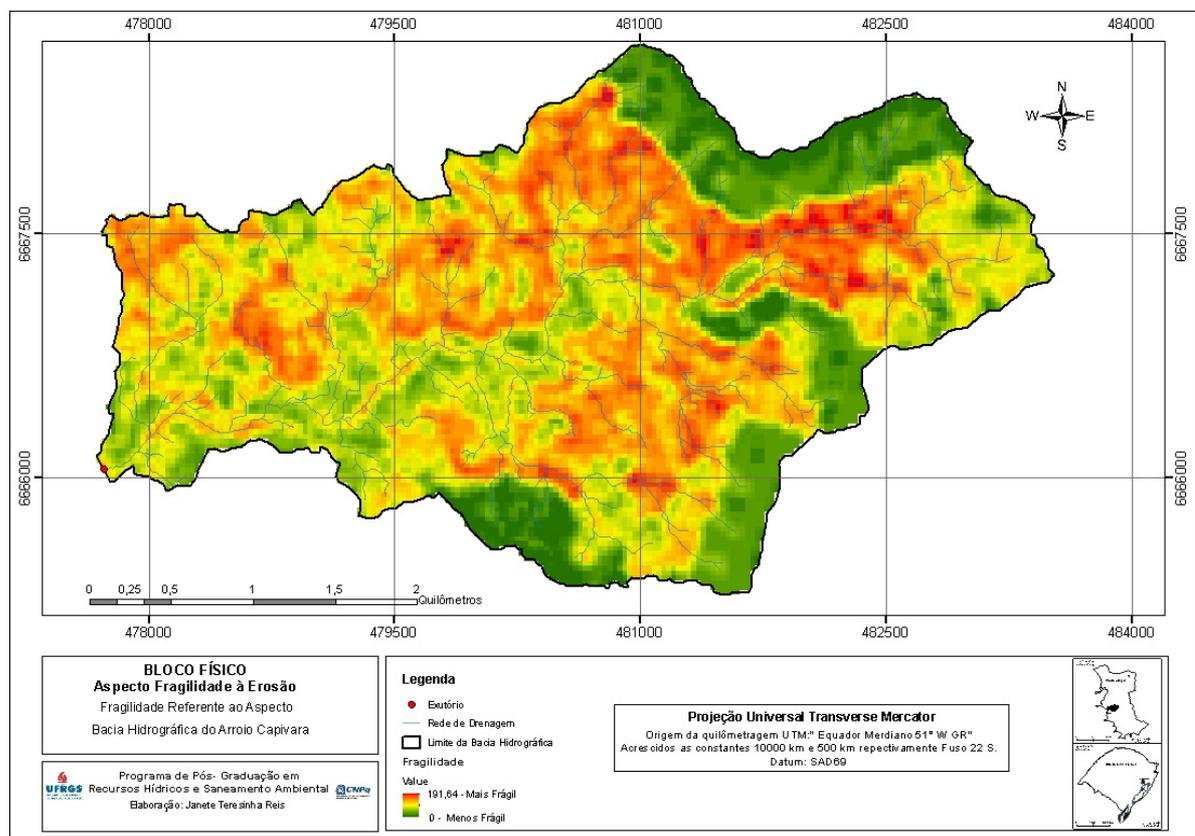


Figura 5.23 – Áreas de fragilidade potencial quanto à erosão

A bacia hidrográfica do arroio Capivara apresenta aproximadamente 20% da área na categoria da maior fragilidade ambiental, ou seja, com maior potencialidade erosiva, considerando os condicionantes naturais e antrópicos. A essas características intrínsecas, soma-se o uso inadequado dos solos.

Ressalta-se em relação à erosão, que os sedimentos que são erodidos nas vertentes, margens de rios e cortes se encaminhem naturalmente para os rios, grande parte destes se

depositam, ao longo do seu percurso, nas partes baixas e planícies de inundação, onde ficam depositadas esporadicamente. Portanto, a erosão transfere para as partes mais baixas os sedimentos erodidos. Ao ser humano cabe planejar e repensar as atitudes ao ocupar o espaço, frear e não acelerar os processos erosivos, uma vez que se trata de um processo natural que pode ser intensificado pela ação humana.

Esta análise integrada referente à fragilidade se difere da proposta de Ross (1994) que leva em consideração somente algumas variáveis do meio físico, fundamentadas na metodologia e construção de um arcabouço teórico referente ao relevo, solo, geologia, clima, uso da terra e cobertura vegetal, incluindo apenas uma variável do meio antrópico. A proposta de Ross (1994) considera do meio antrópico o ser humano como único fator de impacto e os “atributos” que são analisados de forma integrada, atribuindo valores e influências, que resultam no produto síntese expressando diferentes graus de fragilidade. Assim, fundamenta-se no princípio, que na natureza há relações intrínsecas entre os componentes físicos e bióticos (relação causa e efeito).

Na presente pesquisa, a declividade está fundamentada e embasada de forma diferenciada por aspecto temático, cada qual atende suas especificidades e complexidades. Esta diferenciação se deve a estudos anteriores que partem do princípio de prevenir futuros desastres em declividades acentuadas. IPT (1981) define que ocupação de áreas urbanas em declividades superiores a 15% estão sujeitas a instabilidades. Os resultados oriundos da metodologia de Ross seguem uma fórmula pré-estabelecida.

Assim, a análise integrada se assemelha em partes do MMA (2009) por adotar uma variedade de aspectos dos meios físico, biótico e antrópico, porém adaptado para o meio urbano. O que o difere é a escala de detalhamento por ser uma bacia pequena (12 km²) e o Projeto Frag-Rio – MMA (2009) foi desenvolvido em grande bacia representando o meio urbano na escala mapeada como um ponto. Por outro lado, variáveis representativas foram introduzidas. Como exemplo, unidades de conservação e proteção ambiental, áreas de mineração, população rural, indígenas e quilombolas etc. Algumas dessas variáveis não foram encontradas na bacia hidrográfica do arroio Capivara.

Outro elemento diferenciador apresentado por Tucci e Mendes (2006) é a variação dos pesos atribuídos entre as variáveis para definir o modelo por aspecto. A variação de pesos entre as variáveis seguiram o nível de importância, enquanto que a tese mantém o mesmo nível de importância. Além disso, os autores consideram fragilidades a empreendimentos hidrelétricos e a tese para expansão urbana e licenciamentos ambientais. Ambos remetem preocupação com a questão ambiental.

O modelo proposto por Ross (1994) adota uma variável principal e atribui maior “peso” ao avaliar o agrupamento dos índices das variáveis, enquanto que o modelo proposto por Crepani *et al.*, (1996) trabalha com valores médios para o produto final, atribuindo também pesos iguais.

Spörl e Ross (2004) analisaram as metodologias propostas por Ross (1994) índices de dissecação do relevo, Ross (1994) classes de declividade e Crepani *et al.*, (1996). Neste concluíram que o modelo proposto por Ross (1994) pode definir uma fragilidade muito forte para uma área muito dissecada, por ponderar mais a declividade. Porém, as demais variáveis podem amenizar sua vulnerabilidade, ou ainda, podem determinar uma fragilidade muito fraca para uma área de relevo estável. Para Crepani *et al.*, (1996), por considerar ponderação igual entre os diferentes valores dos atributos resultou em valores médios, os autores afirmam que pode “mascarar” ou atenuar o resultado final do índice de fragilidade da unidade identificada. Observaram que o principal problema está relacionado à atribuição de “pesos” as variáveis (relevo, solo, rocha, cobertura vegetal e clima).

Na presente tese adotou-se a mesma ponderação para todas as variáveis, porém ao realizar o ensaio de sensibilidade verificou-se a mais discriminante, e esta, portanto, foi a mais ponderada.

5.2 Fragilidades ambientais do meio biótico

As fragilidades ambientais do meio biótico referem-se aos aspectos: fauna e flora terrestre, e áreas de preservação permanente. O último considerado restritivo a ocupação urbana na bacia hidrográfica do arroio Capivara.

5.2.1 Aspecto fauna e flora terrestre

Este aspecto trata da análise integrada da flora terrestre e da fauna terrestre. O estudo da distribuição da flora denomina-se fitogeografia, enquanto que a de animais define-se como zoogeografia. Ambas são importantes na definição dos ecossistemas e climas/sistemas meteorológicos de cada região.

5.2.1.1 Flora terrestre

A flora exerce papel importante na preservação dos ambientes naturais à medida que, uma grande parte de água da chuva fica retida nas copas e folhas das árvores, evitando a ação diretamente sobre o solo, possibilitando uma infiltração mais lenta nas camadas

subsuperficiais reduzindo o escoamento superficial da água. Embora, ocorra erosão em solos com preservação vegetal, é em menor proporção.

Desta forma, a vegetação passou a ter um papel decisivo na distribuição das chuvas, umidade do solo e volume dos rios. O bioma considerado a mais ampla comunidade biótica reconhecida no nível geográfico, reflete as características ecológicas e fisionômicas da vegetação.

Dentro desta perspectiva, a análise do mapa de fragilidade ambiental da flora terrestre trás uma síntese das espécies vegetais que tem potencial na bacia hidrográfica (Anexo E). Considerando a formação do Bioma Pampa, apenas restam às estepes e a Floresta Estacional Decidual, as demais formações já sofreram alteração pela ação antrópica influenciada pela urbanização (Figura 5.24).

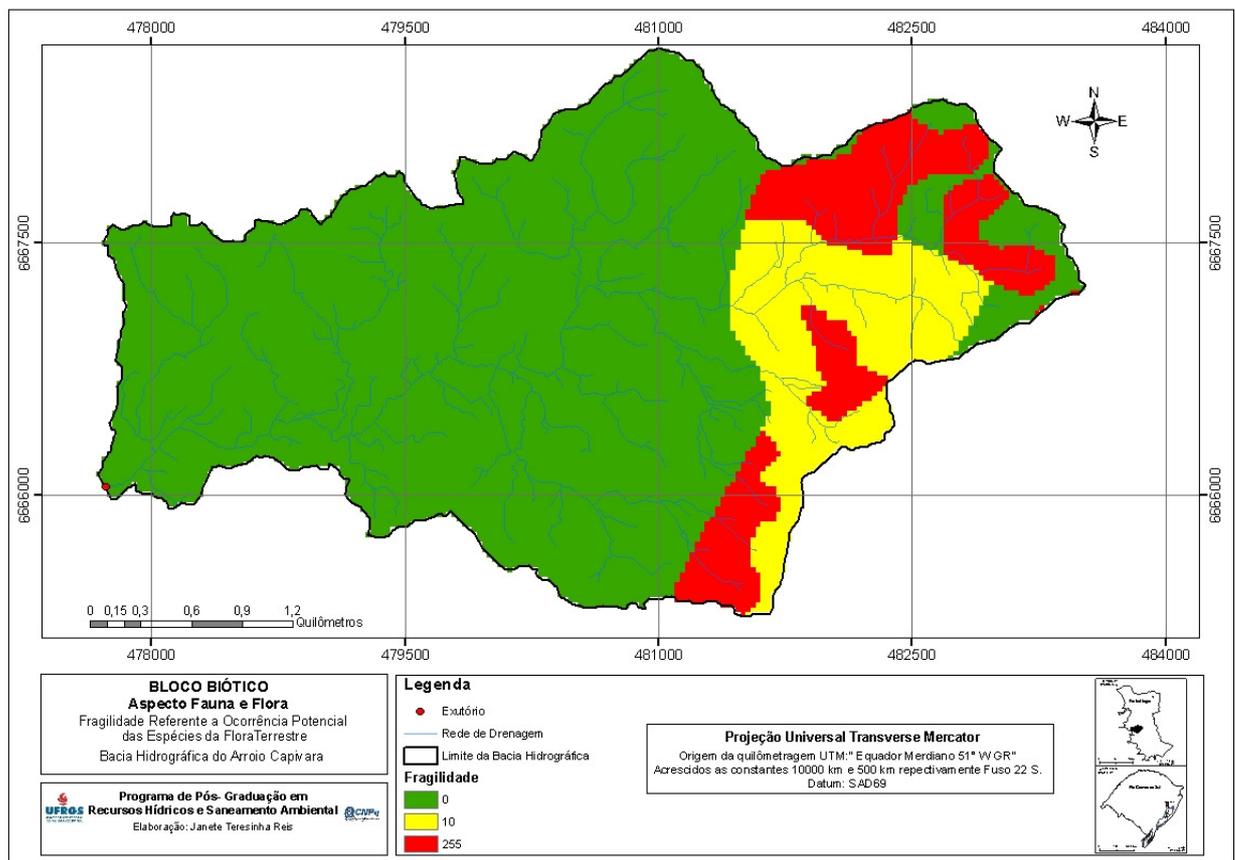


Figura 5.24 – Fragilidade ambiental da ocorrência potencial das espécies da flora terrestre, na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS

Nestas formações do Bioma Pampa, foram associadas às espécies de flora potencial as suas fragilidades ambientais. Aproximadamente 12% da área de estudo apresentam alta fragilidade (255) e 12,3% apresentam baixa fragilidade (fragilidade 10).

A área de maior valor do habitat potencial para a biodiversidade está localizada ao leste da área de estudo, e também apresenta a maior fragilidade ambiental. As formações da flora terrestre representadas em cor verde (Figura 5.24) já sofreram alterações pela urbanização. Estas configuram áreas antropizadas de média e alta intensidade de impactos. Antes da urbanização, estas áreas apresentavam formações originais do bioma Pampa como: Floresta Estacional Decidual, Formações Pioneiras, Estepes e Floresta Estacional.

5.2.1.2 Fauna terrestre

As destruições dos habitats naturais acarretam na diminuição de populações de plantas e de animais, que em virtude da diminuição de área ou pela competição dos recursos remanescentes tornam-se inviáveis e sofre repressão a circulação. Levando em consideração esta afirmativa, observa-se que, a maior fragilidade ambiental da fauna terrestre ocorre a montante da bacia hidrográfica, na porção leste, onde ainda encontram-se remanescentes florestais com matas nativas (Figura 5.25).

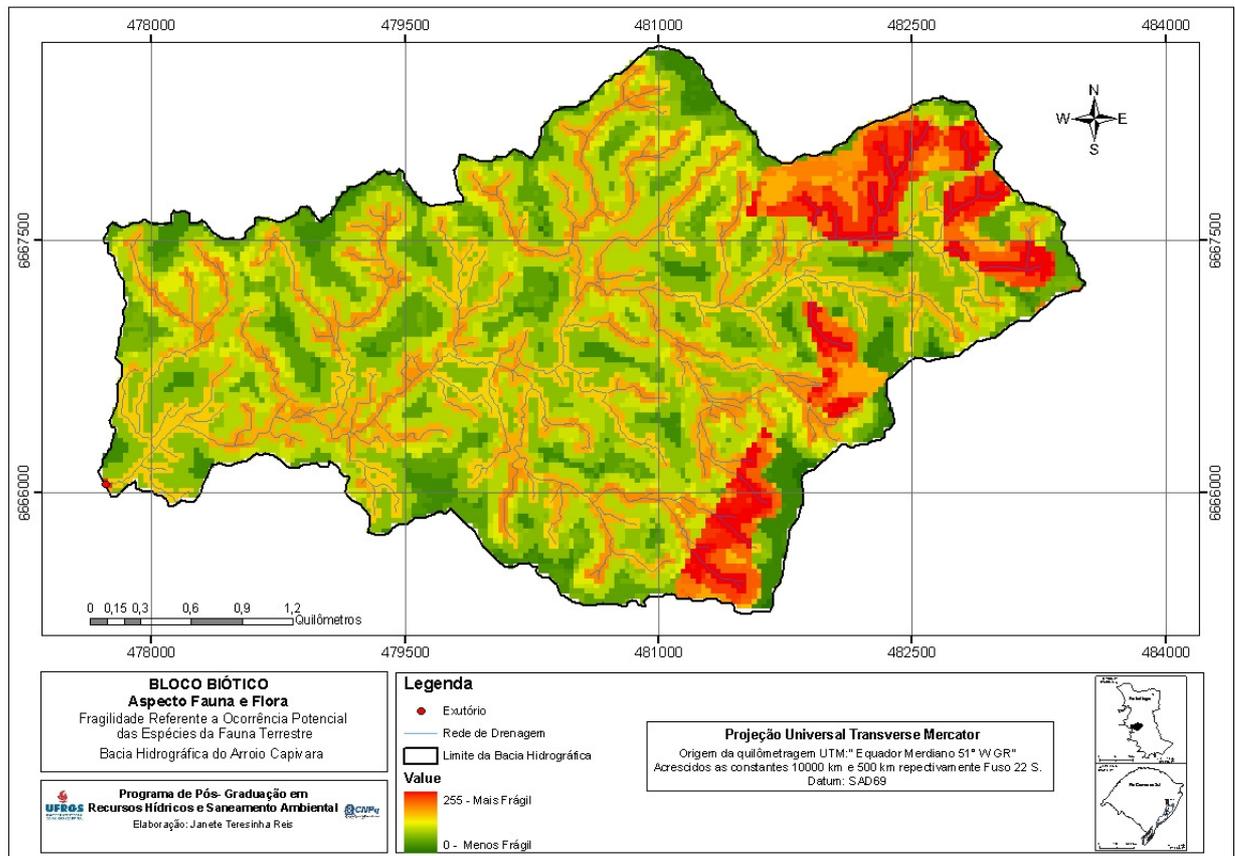


Figura 5.25 – Fragilidade ambiental da ocorrência potencial das espécies da fauna terrestre na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS

Esta área da bacia hidrográfica merece atenção, e deve ser preservada para o bem estar da fauna terrestre, bem como para a biodiversidade da bacia. Na área de estudo, aproximadamente 12% apresentam alta fragilidade ambiental quanto ao potencial da fauna terrestre.

A fauna e a flora, assim como os demais recursos ambientais, exercem uma função no ecossistema, e são indispensáveis para o seu equilíbrio. Nesse sentido, todas as espécies são insubstituíveis, com a ausência de qualquer uma delas altera-se toda a dinâmica do sistema e acaba com a harmonia.

5.2.1.3 Síntese do aspecto fauna e flora terrestre

As espécies da fauna e flora terrestre não se distribuem uniformemente na bacia, o estado dos habitats varia de formações florestais, da mais conservada a montante da bacia, até ambientes bastante degradados, da metade em direção a foz. Entretanto, uma diversidade faunística é sustentada nas florestas e “capoeiras” que permitem sua distribuição mais ao leste, a montante da bacia hidrográfica (Figura 5.26).

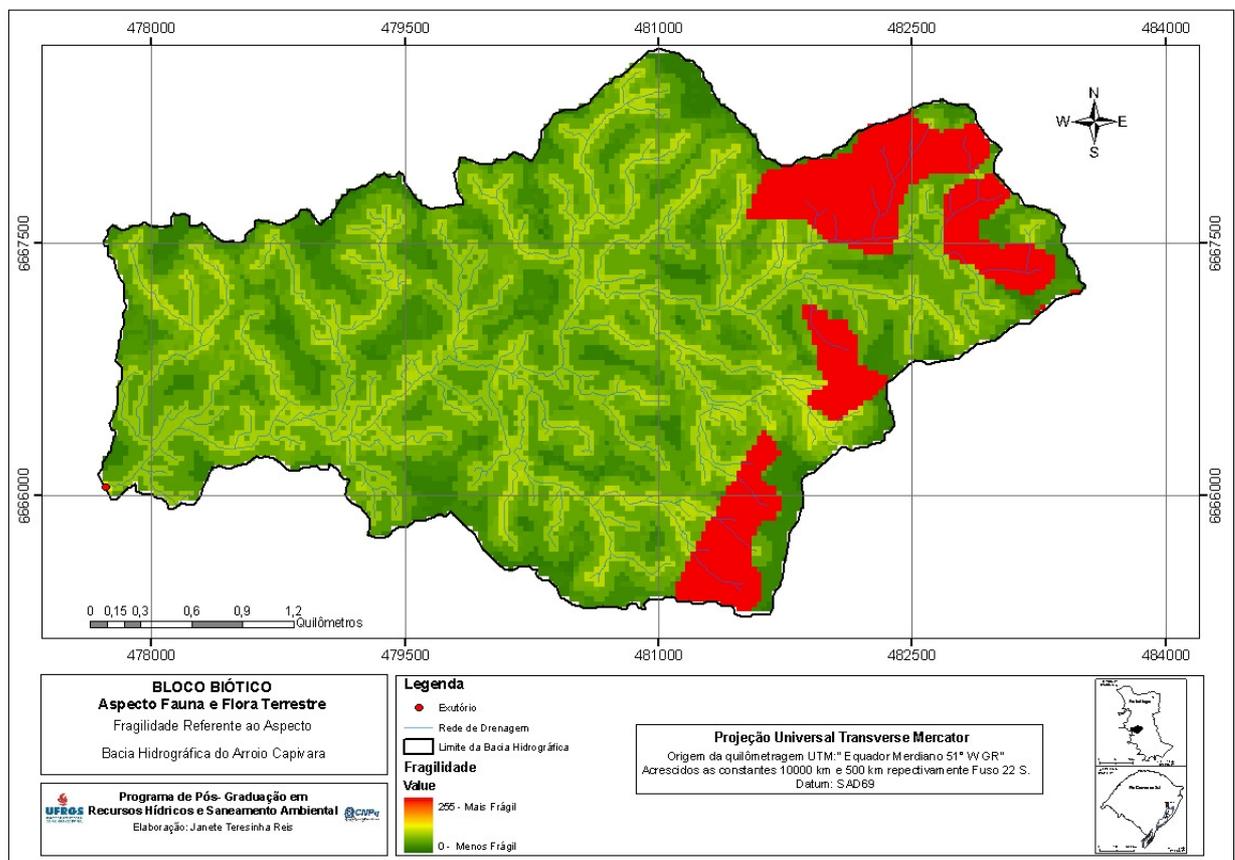


Figura 5.26 – Síntese da fragilidade do aspecto fauna e flora terrestre

As espécies da fauna e flora terrestre que apresentam maior fragilidade encontram-se nesta área da bacia, indicada pela cor vermelha. Observa-se, no entanto, uma diminuição drástica de populações da flora e fauna, juntamente com espécies ameaçadas de extinção ou mesmo somadas ao desaparecimento. Incentiva-se a criação de dispositivos legais, no intuito de diminuir as taxas de desmatamento, e a conversão indiscriminada de áreas vegetadas em bacias hidrográficas urbanas, espaços urbanos ou empreendimentos que demandam remoção da cobertura vegetal existente.

Com o crescente aumento da população, tem-se necessidade de expandir espaço para habitação, porém critérios são necessários para a construção de moradias, onde passa a se escolher áreas de menor fragilidade ambiental, quanto ao meio físico, biótico e antrópico. Deste modo, as áreas de fauna e flora terrestre que ainda restam na bacia hidrográfica do arroio Capivara, em especial as localizadas à montante da bacia, apresentam alta fragilidade para a conservação, e merecem atenção especial na avaliação da viabilidade para a expansão urbana, mediante programas de preservação da mata nativa e restauração de matas ciliares em áreas de conflito ambiental.

5.2.2 Aspecto áreas de preservação permanente

A preocupação com a conservação das áreas de preservação permanentes é constante e cada vez mais necessária, devido à importância que exerce sobre a manutenção da biodiversidade e a proteção física das margens dos rios. Diante dessa prevenção, muitos desastres ambientais que vem ocorrendo no país teriam menor intensidade, assim, mais um alerta e motivo para garantir a proteção de áreas importantes como as APPs, tanto para a manutenção da biodiversidade e de ambientes naturais, como na prevenção da própria vida.

As áreas de preservação permanentes atuam como proteção física das margens dos rios e possuem uma relação direta com a qualidade da água, além de servir como filtro, são as principais fontes de nutrientes e energia no ecossistema aquático. Na bacia hidrográfica do arroio Capivara deveria conter em torno de 13% de áreas de preservação permanente, considerando mata ciliar, e em declividades iguais ou superiores a 30%, o que não ocorre de fato (Figura 5.27).

Com a destruição das matas ciliares ou APPs se eliminam as fontes de nutrientes e de energia alterando a cadeia alimentar, assim como o aumento de sedimentos decorrentes da erosão, modifica o ambiente aquático, levando ao desaparecimento de espécies de peixes que vivem nas áreas das nascentes e cabeceiras de rios, além de reduzir a disponibilidade de água.

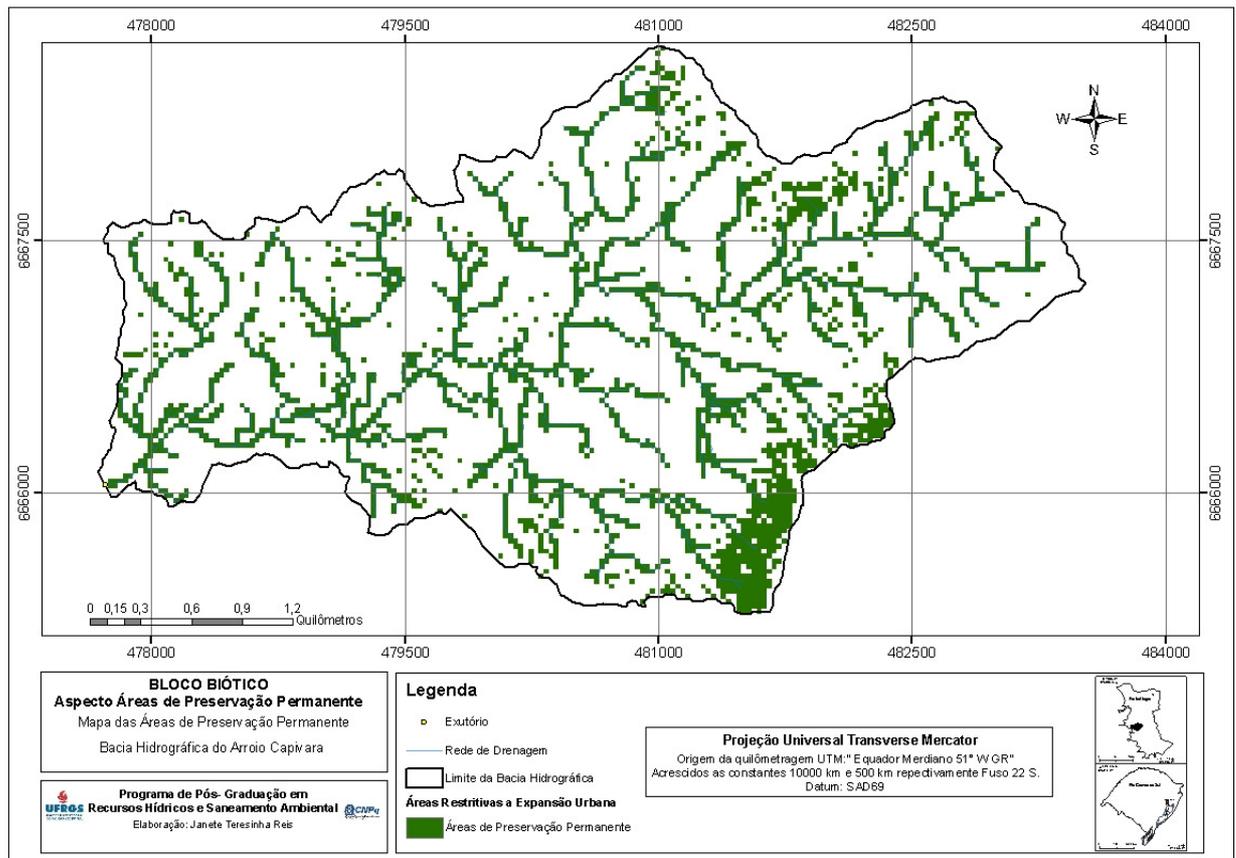


Figura 5.27 – Localização das áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.

O ideal é manter a floresta das APPs, seja mata ciliar, topo de morros ou declives acentuados, com isso há maior infiltração, menor escoamento superficial e mais armazenamento de água. As APPs deveriam ser áreas protegidas com a função de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e garantir o bem-estar da sociedade.

Remetendo esta preocupação ao presente trabalho, as áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do arroio Capivara foram consideradas como restrição absoluta à expansão urbana. Atendendo as normas do Código Florestal Federal (1965) foram consideradas com restrição 30 metros em cada margem dos rios, tendo em vista que o Arroio contempla a largura menor que 10 metros (Figura 5.28).

Para determinar a área de restrição em terrenos ou encosta com declividade igual ou superior a 30% foi considerado o PDDUA de Porto Alegre (2000). A área de estudo possui aproximadamente 13% do total em área de restrição absoluta, considerando as APPs segundo as normas especificadas anteriormente.

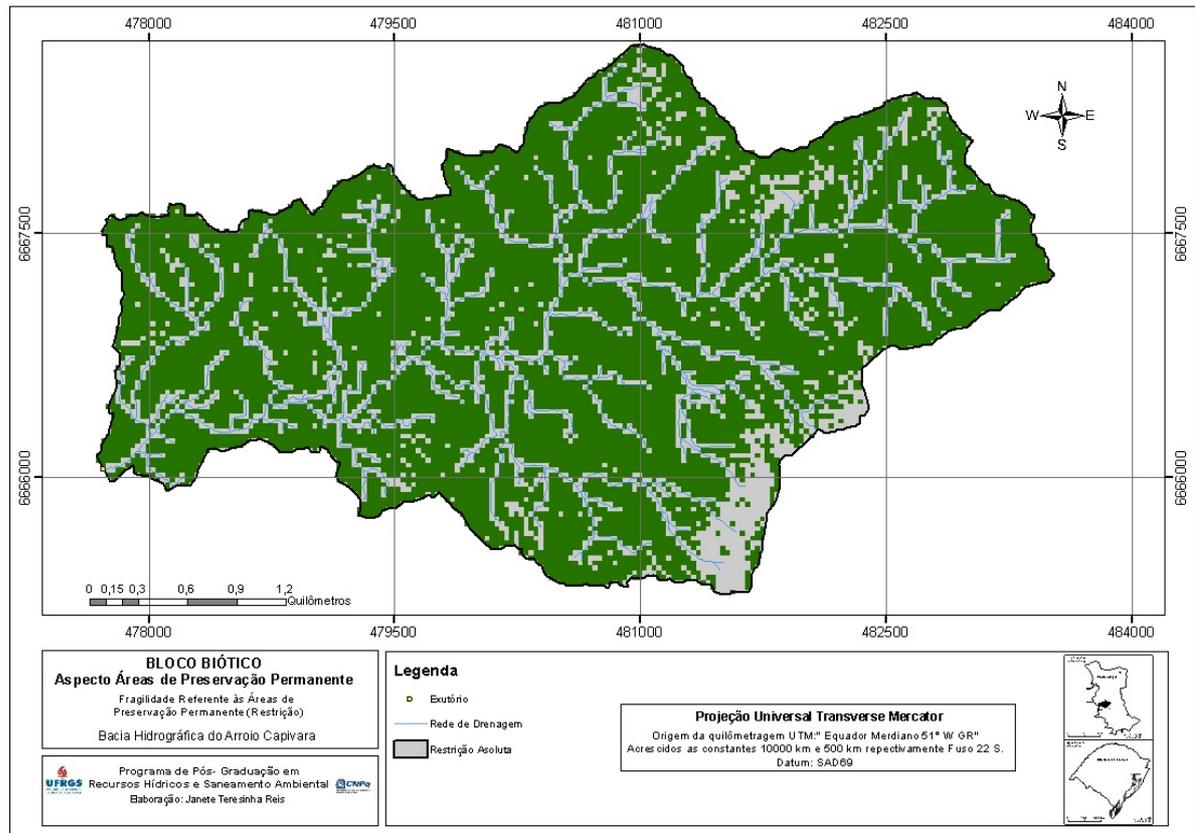


Figura 5.28 – Áreas de restrição absoluta para expansão urbana na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.

Neste contexto, a eliminação da mata ciliar não traz benefícios, mas sim conseqüências que contribuem no assoreamento dos rios, no deslocamento e desaparecimento de nascentes, na extinção da fauna aquática e terrestre, no agravamento de secas e inundações, escoamento direto de resíduos oriundos de agrotóxicos e movimentos de massa. Embora, sabendo disso, o ser humano persiste em eliminar as áreas de preservação permanente.

A proposta de Ross (1991); Ross (1994); Spörl e Ross (2004) e seguidores de sua metodologia não incluem variáveis do meio biótico por acreditar que estas estão subentendidas na relação de causa e efeito do homem sobre o meio físico. Porém, o meio biótico representa uma parte importante na paisagem e interfere positivamente na integridade ambiental. O MMA (2009) bem como, Tucci e Mendes (2006) vão além, por agregar variáveis neste meio, inclusive referentes à biótica aquática.

5.3 Fragilidades ambientais do meio antrópico

As fragilidades ambientais do meio antrópico referem-se aos aspectos: concentração ou índice de urbanização, infra-estrutura urbana, e conflito de uso e ocupação do solo.

5.3.1 Aspecto concentração ou índice de urbanização

Este trata da impermeabilidade da bacia hidrográfica do arroio Capivara, considerada como variável única deste aspecto.

5.3.1.1 Índice de impermeabilidade do solo

Com o aumento da urbanização, e conseqüentemente a impermeabilidade do solo, ocorre a eliminação de vegetação, ocupação de áreas inadequadas, aumento da atividade industrial, compactação do solo, que repercutem na diminuição da infiltração e aumento do escoamento superficial, que pode levar à ocorrência de inundações nas áreas a jusante. A partir deste entendimento o processo de urbanização altera a dinâmica natural dos ambientes, mudando os ciclos de entrada e saída de energia, desencadeando áreas de fragilidade ambiental. Quanto maior o índice de impermeabilidade do solo, maior a fragilidade daquele ambiente. Desse modo, segue-se a lógica de que quanto maior a área impermeável, maior a fragilidade ambiental (Figura 5.29).

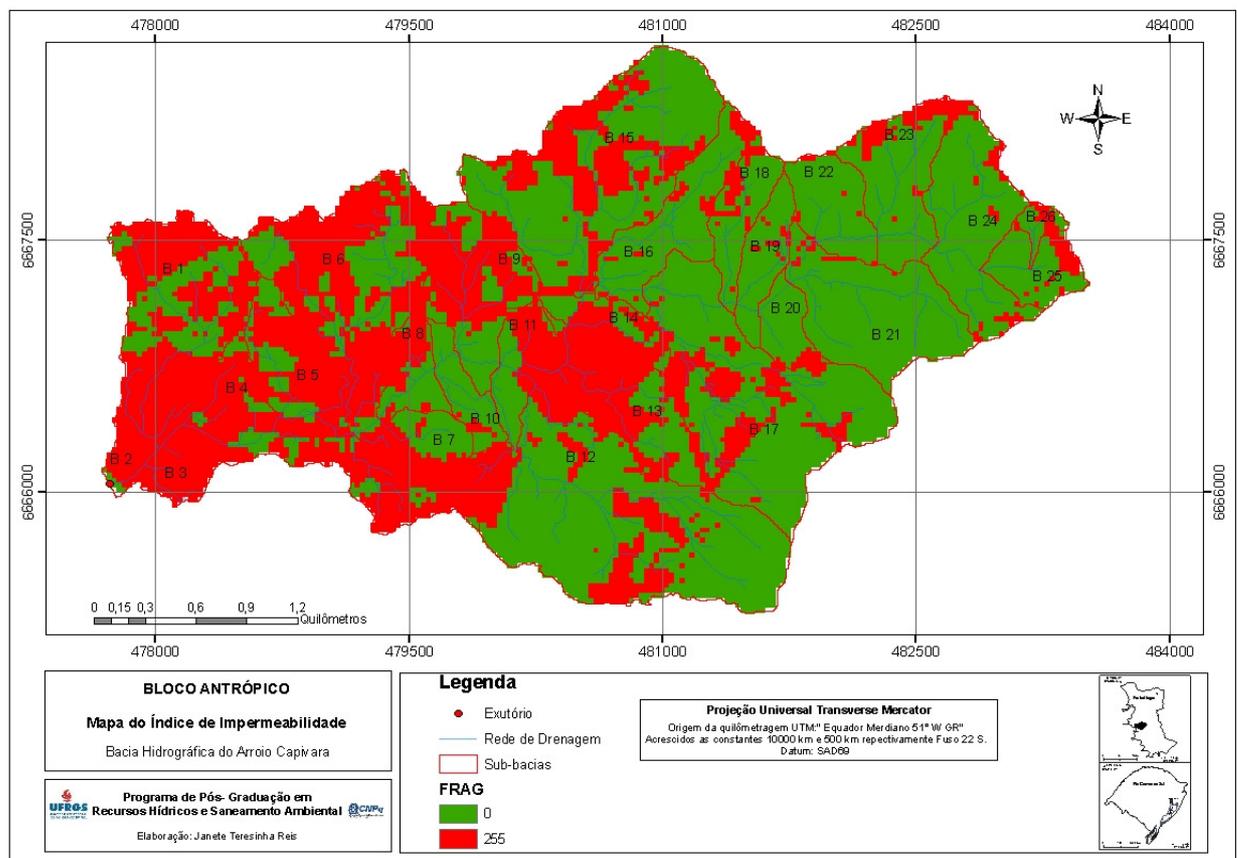


Figura 5.29 – Área impermeável da bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.

A impermeabilidade refere-se às áreas onde o adensamento urbano é alto, e praticamente todos os espaços pavimentados e/ou edificados. Estas áreas localizam-se principalmente da metade em direção a foz na bacia hidrográfica, onde aproximadamente 40% da bacia estão impermeabilizadas. A montante da bacia hidrográfica encontra-se ainda áreas arborizadas, principalmente nos declives mais acentuados e topos de morros. Para ter um ordenamento do nível de fragilidade quanto à impermeabilidade, a bacia hidrográfica foi dividida em sub-bacias por contribuição lateral (Figura 5.30).

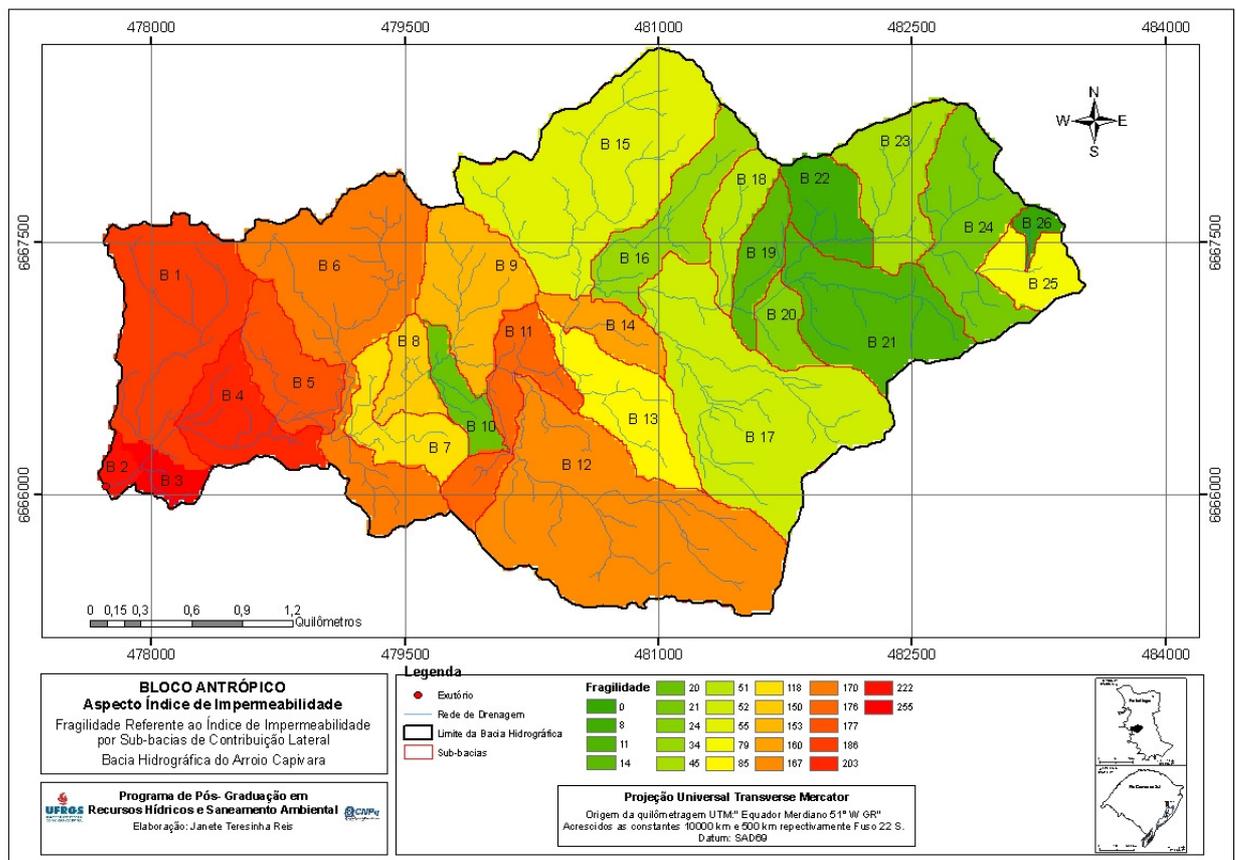


Figura 5.30 – Fragilidade ambiental do índice de impermeabilidade na bacia hidrográfica do Arroio Capivara, Porto Alegre – RS.

A maior fragilidade quanto ao índice de impermeabilidade encontram-se nas sub-bacias B3, onde 100% da área estão urbanizados, na B2 com 87% de impermeabilidade, e a B4 com 79,63% de áreas de impermeabilidade, praticamente com edificados e ruas asfaltadas. Em contrapartida, outras sub-bacias ainda apresentam áreas praticamente arborizadas como a B26, B21 e a B22, com índice de permeabilidade de 98,85%, 96,67 e 95,58%, estas sub-bacias estão situadas a montante da bacia onde a presença da vegetação ainda é expressiva. O padrão de ocupação é variado (residencial médio e baixo, comercial e equipamentos urbanos),

com significativa presença de construções a jusante, dificultando a identificação do tamanho das propriedades. O padrão de ocupação se mostrou ordenado em algumas áreas mais a montante da bacia, devendo predominar o uso residencial; e desordenados em áreas de ocupação mais a jusante em desacordo com as normas legais.

5.3.2 Aspecto infra-estrutura urbana

Este aspecto possui somente uma variável, referindo-se a malha viária da área de estudo.

5.3.2.1 Malha viária

A acessibilidade entre os espaços é de extrema importância, para o deslocamento das pessoas, transporte de cargas para manter ligação entre as áreas de interesse da cidade e da região. Sua importância se resume as atividades que são desenvolvidas no meio urbano, uma vez que, a cidade não se desenvolve isoladamente. Desta forma, a malha viária deve apresentar uma capacidade disponível para os veículos utilizarem em função das atividades que são desenvolvidas.

O sistema viário é composto de uma ou mais redes de circulação, abarcando diferentes tipos de vias, podendo ser pavimentadas ou não pavimentadas. As vias pavimentadas apresentam maior fragilidade ambiental pela impermeabilidade do solo, dificultando a infiltração da água, proporcionando o aumento do escoamento superficial, entre outros. Na bacia hidrográfica do arroio Capivara a malha viária foi classificada segundo o grau de fragilidade, atendendo parte dos quesitos do Plano Diretor de Desenvolvimento Ambiental Urbano, 2000. Desse modo, a malha viária foi classificada como: vias pavimentadas arteriais, vias não pavimentadas coletoras, vias não pavimentadas locais (Figura 5.31).

As vias pavimentadas arteriais: são aquelas que sofreram impermeabilização do solo urbano e permitem ligações intra-urbanas, com média ou alta fluidez de tráfego, baixa acessibilidade, apresentando restrita integração com o uso e ocupação do solo, e são próprias para a operação de sistemas de transporte de alta capacidade de transporte coletivo, segregado do tráfego geral e de cargas. Estas vias apresentam maior impermeabilidade e a maior trafegabilidade entre as vias da área de estudo.

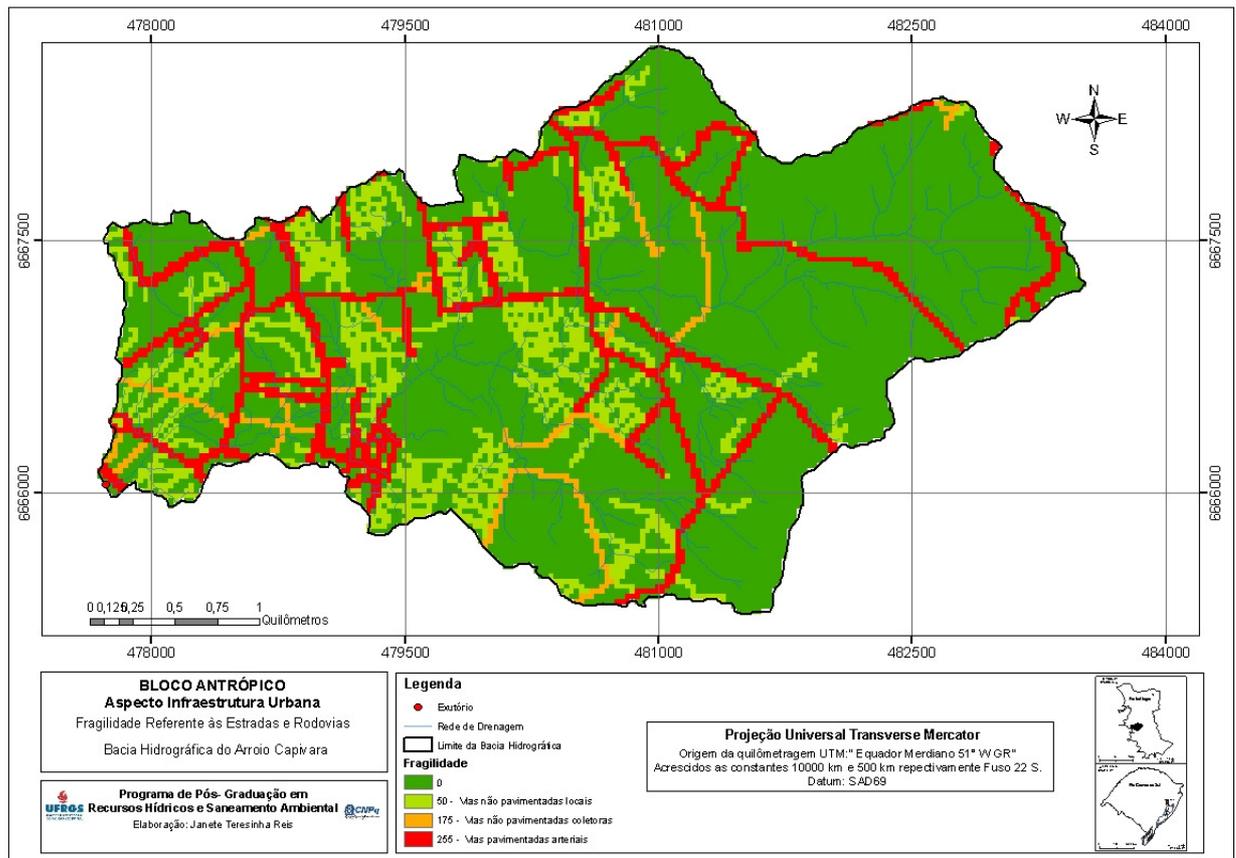


Figura 5.31 – Fragilidade ambiental da malha viária na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.

As vias não pavimentadas coletoras: referem-se as não asfaltadas com permeabilidade do solo, são as intermediárias, que recebem e distribuem o tráfego entre as vias locais e pavimentadas, apresentando equilíbrio entre fluidez de tráfego e acessibilidade, possibilitando sua integração com o uso e ocupação do solo, e são próprias para a operação de sistemas de transporte coletivo, compartilhado com o tráfego geral e apresentam uma trafegabilidade maior que as vias locais.

As vias não pavimentadas locais: são aquelas não asfaltadas e promovem a distribuição do tráfego local, apresentando baixa fluidez de tráfego, alta acessibilidade, caracterizando-se pela intensa integração com o uso e ocupação do solo.

Entre as vias analisadas as pavimentadas arteriais foram consideradas as mais frágeis com valor de 255, esta classe representa 12,12% da área. As vias não pavimentadas coletoras com fragilidade 175 contribuem com 2,54%, enquanto que, as vias não pavimentadas locais representam 13,18% da bacia em estudo, com a maior contribuição percentual, porém as menos frágeis.

5.3.3 Aspecto conflito de uso e ocupação do solo

O objetivo deste aspecto é diagnosticar o uso e ocupação do solo urbano confrontando-os com as áreas de preservação permanente para, posteriormente, apontar as áreas de conflito decorrentes do uso inadequado do solo.

5.3.3.1 Uso e ocupação do solo

O levantamento do uso e ocupação do solo urbano é importante para a compreensão dos padrões de organização do espaço. Assim, o uso e ocupação do solo pode ser entendido como uma combinação do tipo de uso (atividade) e de um tipo de assentamento (edificação), caracterizando um conjunto das atividades, processos individuais de produção e reprodução que ocorre em uma sociedade.

As necessidades de mudanças do uso e ocupação do solo estão diretamente relacionadas a falta de planejamento do espaço urbano. Geralmente, onde há ausência de planejamento do uso e ocupação do solo, ou sua execução não segue o planejado, ocorre degradação da terra e seus recursos naturais.

A expansão urbana, aliada ao uso inadequado do solo, pode ser considerada como um dos grandes responsáveis pelas pressões sobre os recursos naturais. Para tanto, a bacia hidrográfica do arroio Capivara recebeu valores de fragilidade conforme a intensidade e o tipo de uso e ocupação urbana. O solo exposto e as vias foram considerados as mais frágeis, devido à exposição direta da ação das chuvas, permitindo que grande parte do solo possa ser carregado aos cursos de água causando assoreamento dos canais fluviais. O tipo de ocupação que, também, foi considerado frágil são as áreas comerciais industriais e serviços urbanos, assim com residenciais edificados. Estas áreas, atualmente, sofrem grande pressão antrópica, devido ao intenso processo de urbanização local.

Por outro lado, a mata nativa recebeu a menor fragilidade. Pois, a cobertura vegetal é importante na estruturação do solo, sua densidade e percentagem podem: reduzir os efeitos dos fatores erosivos naturais, aumentarem a fertilidade dos solos, atuarem na estabilidade dos agregados, proporcionando maior resistência à ação desagregadora da água (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999; GUERRA, 2001).

Na bacia hidrográfica do arroio Capivara a mata nativa corresponde a 13,23% do total dos tipos de usos identificados (Figura 5.32). O tipo de uso do solo com maior destaque corresponde ao residencial casas com 29,09% de ocupação da área total, seguido pelos campos com 18,5%.

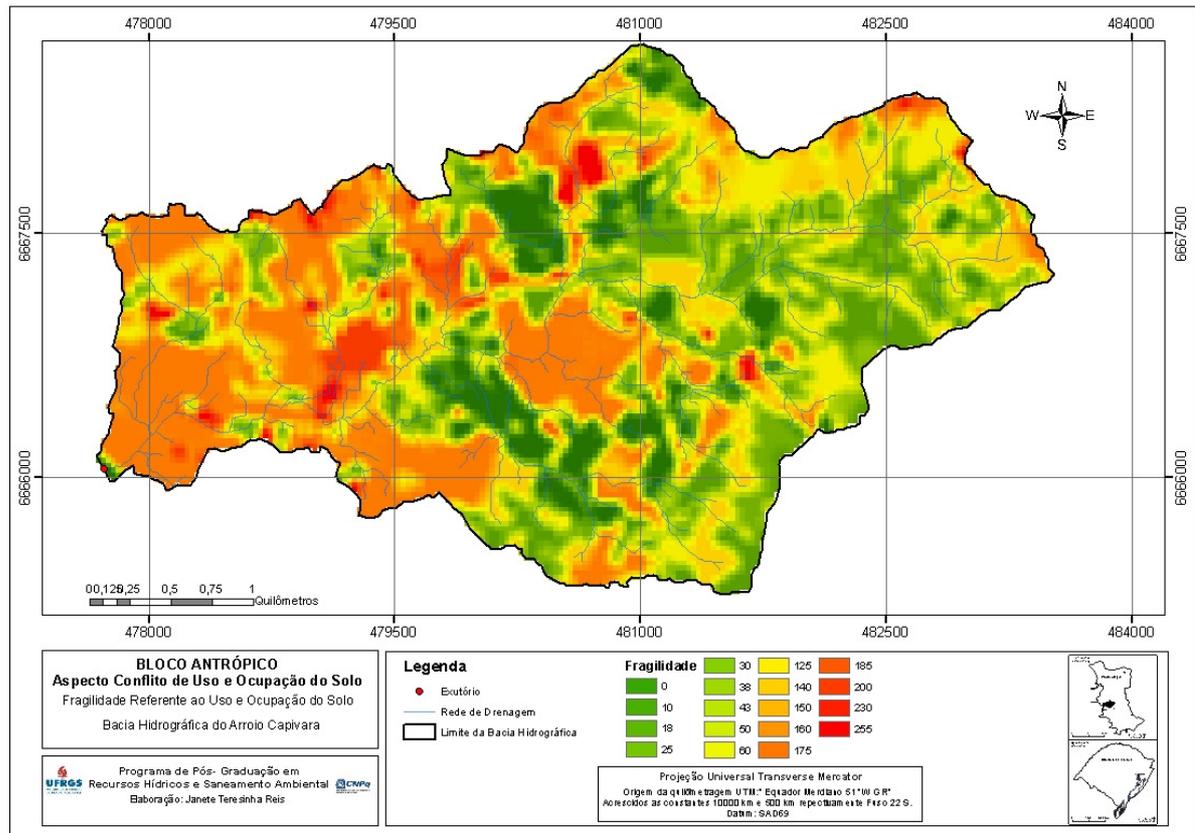


Figura 5.32 – Fragilidade ambiental do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.

5.3.3.2 Áreas de Preservação Permanente

As Áreas de Preservação Permanentes (APP's) previstas no Código Florestal têm a função de proteger o meio ambiente e assegurar-lhe a perpetuidade e o bem-estar das populações humanas. Essas funções consistem na preservação da paisagem, proteção dos recursos hídricos, proteção do fluxo gênico da fauna e flora, e dissipador de energia erosiva (BRASIL, 1965).

Na bacia hidrográfica do arroio Capivara grande parte de suas margens encontram-se ocupadas por algum tipo de uso inadequado, tornando-as áreas frágeis e vulneráveis as intempéris da natureza. Um dos problemas, mais relevantes, observados nas áreas destinadas as APPs é o desrespeito aos ecossistemas que as compõem, em virtude da ocupação das margens dos arroios desrespeitando a legislação ambiental.

Na bacia hidrográfica do arroio Capivara 22,64% da área total são considerados de preservação permanente, porém, apresentam conflitos de acordo com o uso e ocupação do solo em 16,78%, (nas margens dos arroios e declividades iguais ou superiores a 30%) (Figura 5.33).

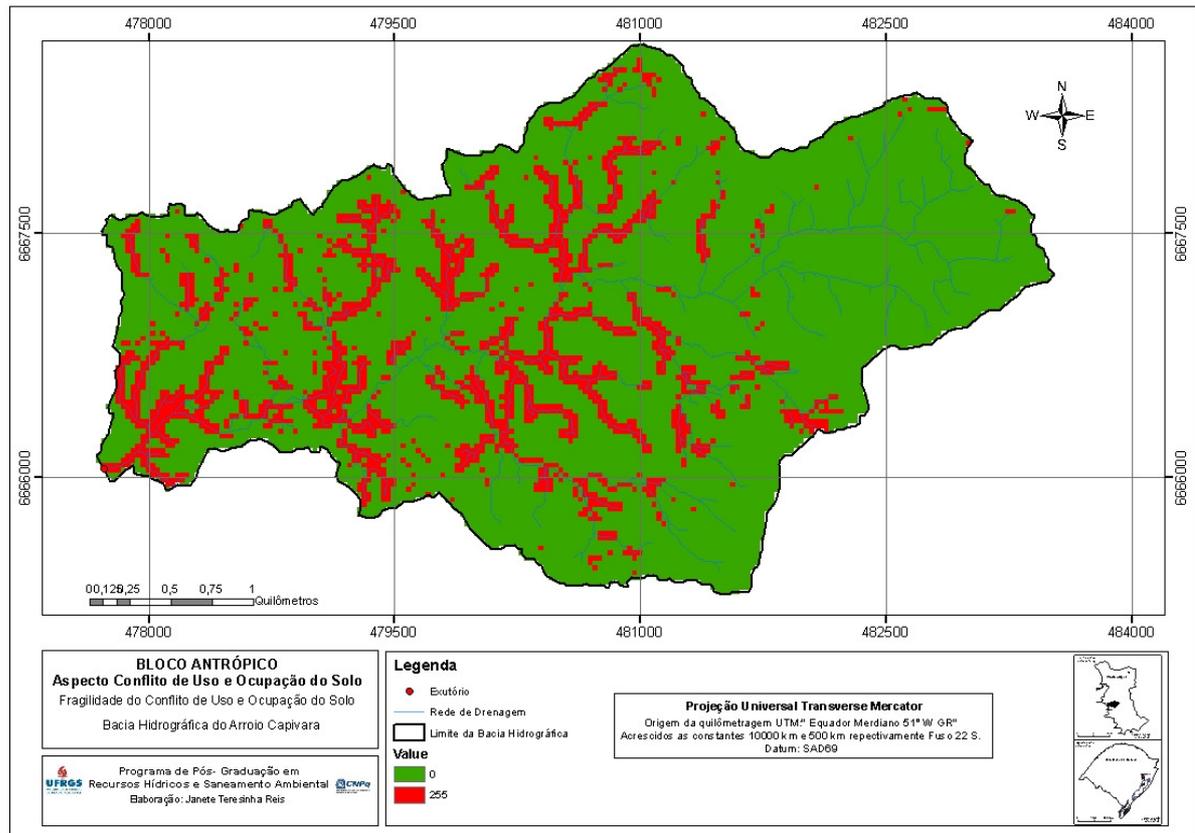


Figura 5.33 – Fragilidade ambiental das áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.

Em virtude do crescimento acelerado e desordenado, uma parcela da população da bacia hidrográfica do arroio Capivara (16,78%), ocupa áreas próximas aos cursos de água e em declividades inadequadas, construindo suas moradias ou fazendo qualquer tipo de uso indevido, e aproximadamente 5,86% da área da bacia hidrográfica encontra-se preservada. Este percentual elevado de uso e ocupação, em conflito, causa uma pressão significativa sobre o meio físico urbano.

Portanto, as áreas em conflito são consideradas áreas de máxima fragilidade ambiental na bacia hidrográfica. Repassando ao ser humano o desafio da conservação ambiental, e a recuperação de áreas naturais consideradas frágeis, das quais vários ecossistemas dependem. As áreas de preservação permanentes têm vital importância para a estabilidade das unidades de planejamento (bacias hidrográficas), por serem responsáveis pela manutenção, preservação e conservação dos ecossistemas ali existentes (MAGALHÃES e FERREIRA, 2000).

5.3.3.3 Síntese do aspecto conflito de uso e ocupação do solo

Como síntese dos resultados deste aspecto a figura 5.34 mostra às áreas mais frágeis (em vermelho) e menos frágeis (verde) na área de estudo. As áreas mais frágeis concentram-

se nas margens dos arroios, com maior expressividade da metade em direção a foz, e com menor intensidade nos declives iguais ou superiores a 30%. O que demonstra que a maior ocupação inadequada do solo ocorre nas margens dos cursos de água, ou seja, estão em conflito com o tipo de uso do solo.

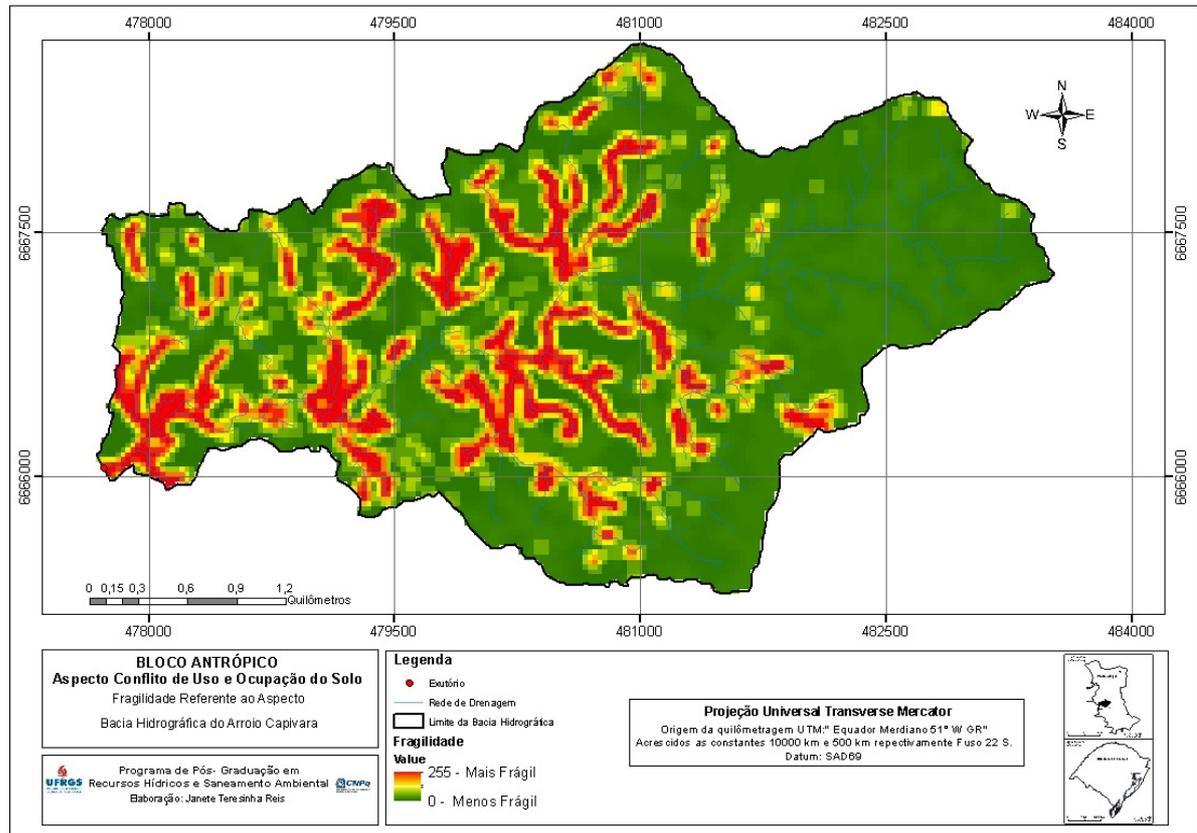


Figura 5.34 – Fragilidade das áreas de conflito do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.

A diferença entre os estudos do MMA (2009); Ross (1991); Ross (1994); Spörl e Ross (2004) e a presente tese referem-se à quantidade de variáveis adotadas para determinar o meio antrópico, assim como a escala de mapeamento. Ross (1991); Ross (1994); Spörl e Ross (2004) se remetem basicamente ao estudo do meio físico, e ao uso e ocupação do solo, o MMA (2009) agrega mais variáveis, e adota uma escala de mapeamento menor.

Desse modo, as análises integradas em bacias hidrográficas são consideradas importantes pela diversidade da apresentação e discussão dos resultados, possibilitando cada qual diagnosticar usos inadequados quanto aos recursos naturais e propor medidas mitigadoras para a recuperação ambiental. Esta temática se torna mais complexa quando direcionada ao ambiente urbano.

Spörl e Ross (2004) constataram que no estudo da análise integrada de variáveis o principal problema está relacionado à atribuição de “pesos”. Segundo os autores, estes pesos devem indicar uma contribuição relativa a cada uma das variáveis (relevo, solo, rocha, cobertura vegetal e clima) na determinação do grau de fragilidade de uma área. Porém, acrescenta-se: na avaliação integrada, atribuir pesos iguais e/ou pesos diferentes, e ainda verificar in loco a veracidade destes resultados, poderá contribuir na tomada de decisão, assim como, no desenvolvimento científico.

Considerando o modelo conceitual da análise integrada de fragilidades ambientais do ambiente urbano registra-se o duelo da concentração populacional e a sustentabilidade ambiental. Esta dualidade pode ser verificada na área de estudo, onde na metade superior há uma pequena concentração populacional, favorecendo a auto-organização, a regeneração e a estabilidade da paisagem, enquanto que na metade inferior há uma alta concentração populacional, dificultando o planejamento organizacional da paisagem, para o desenvolvimento ambiental mais sustentável.

Analisando a bacia hidrográfica do arroio Capivara como um sistema, e de forma integrada os processos de produção, consumo e decomposição podem ser ordenados e planejados de forma a sustentar este modelo. Para tanto, uma (re)organização e (re)estruturação espacial faz-se necessário. Neste contexto, além do ser humano fazer parte integrante do sistema, as espécies não podem ser consideradas separadamente. Portanto, a relação entre sociedade e natureza remete a responsabilidade das ações do homem sobre a integridade do meio ambiente.

Desse modo, o presente estudo introduz uma discussão, assim como, uma (re)organização espacial ao determinar as áreas menos frágeis para expansão urbana e licenciamentos ambientais. Pois, há áreas de alta fragilidade ambiental alvos de uso e ocupação do solo inadequadamente, e que não deveriam ter seu uso expandido. Além disso, esta tese permite ampliar as discussões para próximos trabalhos, permitindo a atribuição de pesos diferentes, conforme o nível de importância das variáveis na determinação do grau de fragilidade ambiental. Tal fato contribuirá no aperfeiçoamento do modelo, bem como no aprimoramento científico, além do melhoramento do planejamento urbano.

6 ANÁLISE INTEGRADA PARA EXPANSÃO URBANA E LICENCIAMENTO AMBIENTAL

O presente capítulo visa realizar a inter-relação do meio físico, biótico e antrópico com o intuito de determinar as áreas de menor fragilidade ambiental para expansão urbana e licenciamentos ambientais, e as de maior fragilidade ambiental para prevenções de futuros desastres naturais ou desastres artificiais induzidos pela ação antrópica. Além da inter-relação, este, apresenta cenários que objetivam a conservação e a recuperação ambiental; ensaios de sensibilidade para verificar o índice de discriminância entre as variáveis e a análise de consistência de dados para o aspecto contaminação das águas superficiais demonstrando o grau de confiabilidade, entre dados estimados e medidos a campo, a fim de agregar informações e averiguar o grau de incerteza, desta variável, junto ao modelo.

6.1 Análise integrada

6.1.1 Meio físico

O conhecimento do meio físico e dos processos dinâmicos que atuam sobre a natureza podem contribuir no melhor ordenamento do uso do solo urbano, uma vez que o processo de planejamento urbano e os condicionantes do meio físico são considerados como informações importantes para os planejadores urbanos. O estudo do meio físico sob um enfoque sistêmico é definido como “a totalidade estruturada em equilíbrio dinâmico, com vários aspectos, guardando relações de interdependência com os demais componentes” (FORNASARI FILHO *et al.*, 1990).

Desta forma, o estudo integrado do meio físico permite determinar se uma determinada área está susceptível a desenvolver processos erosivos, apresenta potencial à inundação, instabilidade de encostas e movimentos de massa, contaminação das águas superficiais e subterrâneas, etc. Estes processos integrados permitem determinar as áreas mais frágeis quanto à ocorrência física dos fenômenos, muitas vezes, potencializados pela atuação conjunta ou minimizados pela interferência que um aspecto exerce sobre o outro.

Levando em consideração a inter-relação dos aspectos do meio físico, a bacia hidrográfica do arroio Capivara apresenta maior fragilidade física à montante da bacia, assim

como a margem direita. Enquanto que, a menor fragilidade do meio físico encontra-se de forma esparsa junto ao divisor de água na porção norte, oeste e leste da bacia hidrográfica em análise (Figura 6.1).

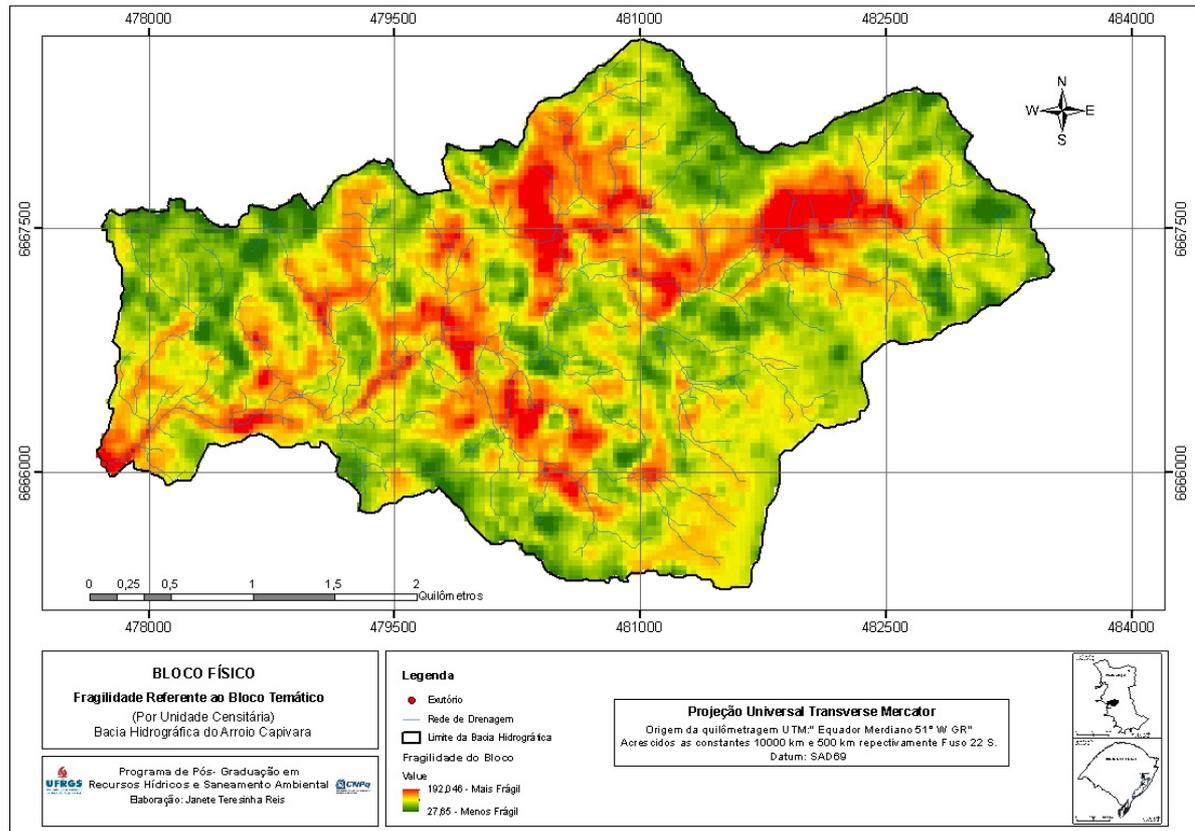


Figura 6.1 – Fragilidade ambiental do meio físico na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS.

Os elementos do meio físico estão inter-relacionados, constituindo uma abordagem dos aspectos físicos da paisagem, na qual se definem áreas com características semelhantes. Desta forma, as áreas mais frágeis da bacia, caracterizam-se como as mais susceptíveis aos intempéries da natureza.

A composição, a existência, e a inter-relação dos elementos físicos na paisagem repercutem diretamente na qualidade do ambiente e na preservação das águas superficiais de uma bacia hidrográfica.

Analisando a área de estudo por bacia de contribuição, os cursos de água que estão vulneráveis quanto a fragilidade localizam-se no entorno dos cursos de água (Figura 6.2). Este fato demonstra que a qualidade da água superficial do Arroio requer cuidados e pode estar sendo poluída, em virtude dos tipos de usos do solo. Na bacia de contribuição CP1 a maior fragilidade encontra-se no entorno do ponto de coleta de água.

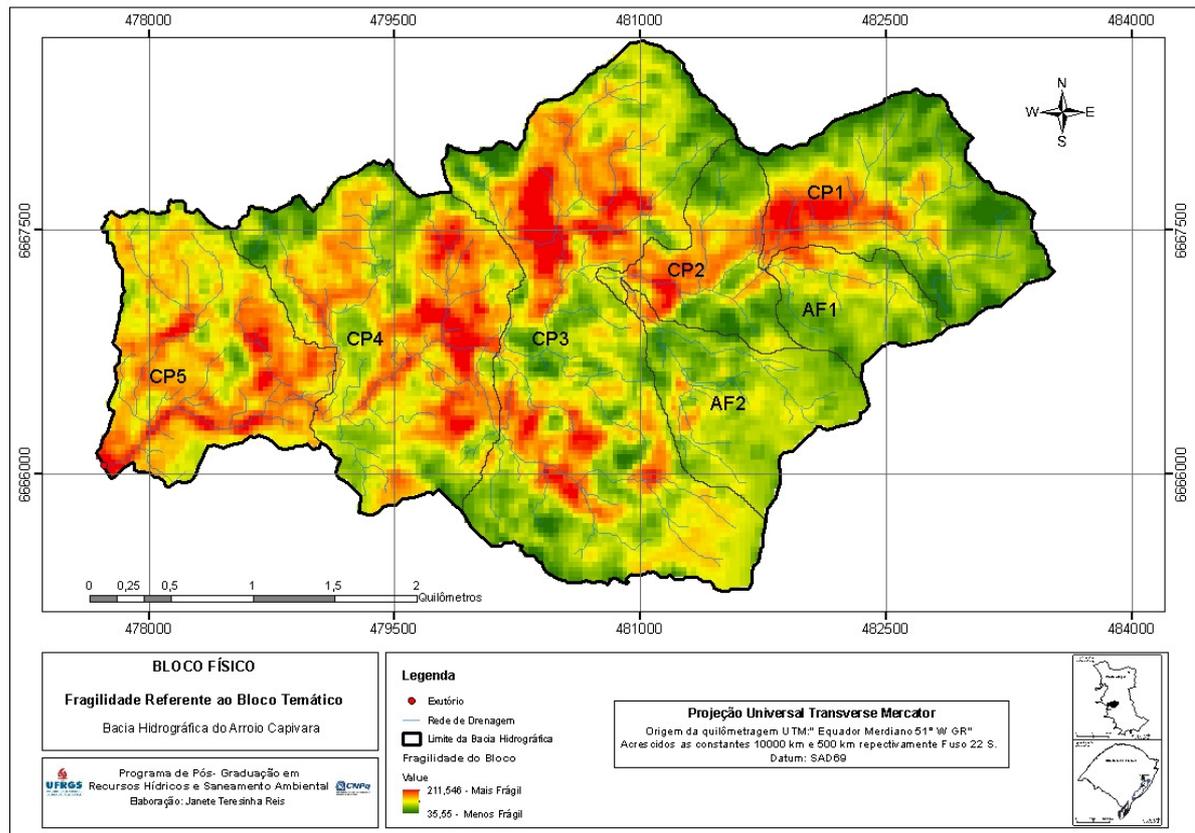


Figura 6.2 – Fragilidade ambiental do meio físico por bacia de contribuição na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.

A partir deste entendimento, reconhece-se que os elementos constituintes do meio físico são importantes para a manutenção da qualidade do recurso água, do sistema terrestre, e à conservação do ecossistema aquático. Portanto, as bacias de contribuição AF2 e AF1 apresentam o menor índice de fragilidade ambiental. Este fato pode ser atribuído à preservação dos recursos naturais, que sem a sua manutenção, são desencadeadores de instabilidades do ambiente local.

Considerando que a população influencia na deterioração da qualidade da água em bacia hidrográfica urbana, no aspecto contaminação das águas superficiais foram considerados pesos iguais e pesos diferentes à agricultura e carga orgânica remanescente da população. No primeiro foi considerado que agricultura contribui em 20% da contaminação da água superficial e a população (carga orgânica remanescente) com 80%, (Figura 6.3).

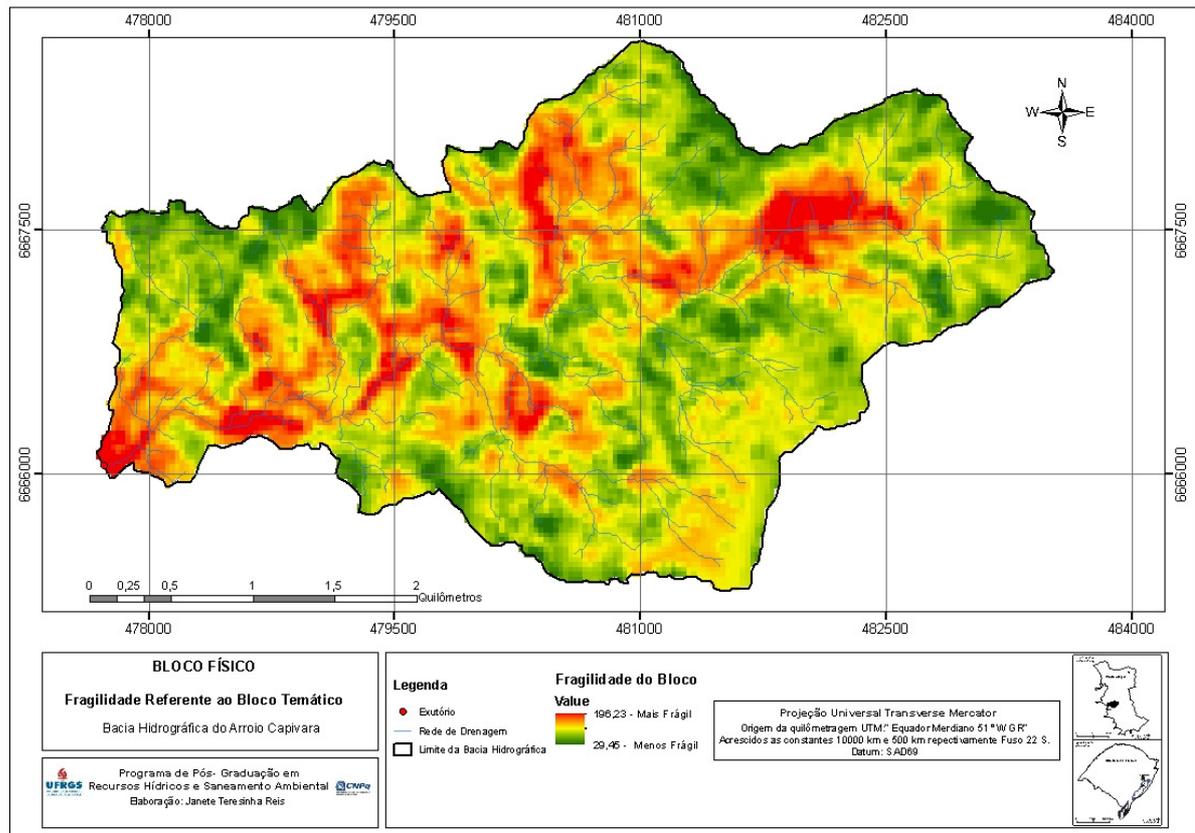


Figura 6.3 – Fragilidade ambiental do meio físico com pesos diferentes para contaminação das águas superficiais na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.

As áreas de fragilidade ambiental com pesos iguais (utilizadas no modelo) e pesos diferentes não diferem muito, o que varia é a intensidade da fragilidade em algumas áreas observadas. A área considerada mais frágil a montante da bacia hidrográfica na CP1 permanece a mesma, o que modifica é a intensidade da fragilidade na área central da bacia, justamente onde se localiza a maior parte da agricultura temporária, tendo em vista que a agricultura somente contribui com 20% da fragilidade. Desta forma, a porção central da bacia hidrográfica dispõe de áreas de menor intensidade de fragilidade.

Por outro lado, adotando o mapa do modelo (Figura 6.2), encontram-se áreas mais frágeis na porção central e menos frágeis junto à foz da bacia hidrográfica. Portanto, o mapa modelo com pesos iguais foi adotado para a análise integrada, tendo em vista que este corresponde mais com a realidade da bacia hidrográfica atualmente. Esta variação de pesos foi adotada para reduzir incertezas no modelo.

A sobreposição do meio físico com o carbono orgânico dissolvido revelou que as bacias de contribuições de maior fragilidade correspondem a CP5, CP4, CP3 (Capivara 5, 4, 3) e AF1 (Afluente 1) em ordem decrescente. Quanto mais em direção a foz maior a fragilidade

acumulada (Figura 6.4). A maior fragilidade ambiental ocorre no CP5 e a menor fragilidade na bacia de contribuição do CP1 a montante da bacia em estudo.

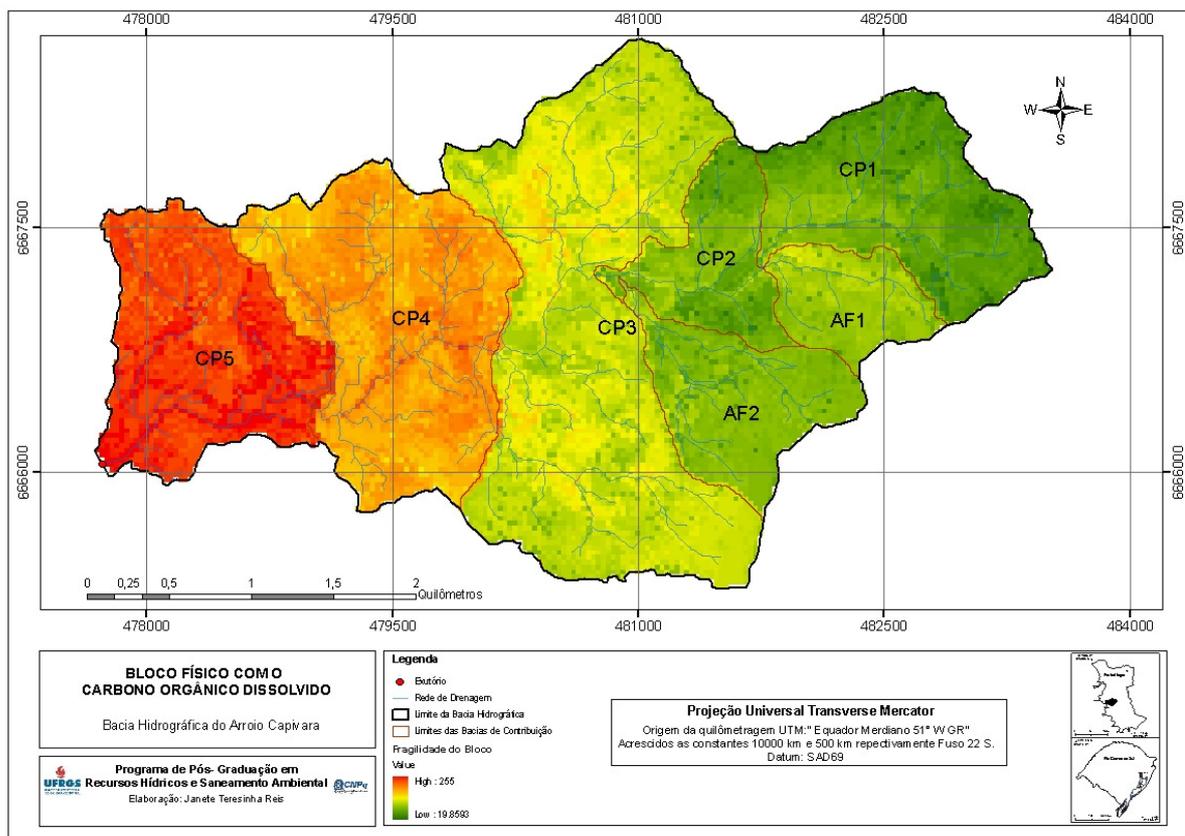


Figura 6.4 – Fragilidade ambiental do meio físico com carbono orgânico dissolvido por bacias de contribuição, na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.

6.1.2 Meio biótico

A avaliação do meio biótico compreende a análise integrada dos resultados da fauna e flora terrestre, e das áreas de restrição ambiental. Uma das principais características é a possibilidade de integrar informações do meio biótico, visando o planejamento urbano e a conservação ambiental.

Os ecossistemas de origem sub-tropical possuem grande extensão e riqueza de diversidade biológica. Desta forma, seu estudo contribui para o incremento do conhecimento geral sobre a distribuição, magnitude e status da conservação da diversidade, além de desempenhar papel importante do planejamento das unidades de conservação.

As áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade, quase sempre definidas como zonas intangíveis em zoneamentos, aqui são definidas a partir de critérios que levaram em consideração a diversidade de habitats e espécies da fauna e flora e as espécies raras ou ameaçadas de extinção.

Para tanto, a questão da preservação da biodiversidade diverge entre alguns estudiosos. Odum (1969) sugere que 1/3 de cada tipo de ecossistema deva ser preservado; já de acordo com a Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento (1991), no mínimo 12% da capacidade ecológica, representando todos os tipos de ecossistemas, deveriam ser preservados para a proteção da biodiversidade. Este percentual é um valor considerado viável por alguns, porém, para outros, os 12% podem não ser suficientes para assegurar a biodiversidade.

As áreas mais frágeis são aquelas que apresentam maior biodiversidade ameaçada de extinção. Desse modo, na bacia hidrográfica do arroio Capivara a maior fragilidade da biodiversidade é encontrada a montante da bacia representada pela área vermelha (Figura 6.5).

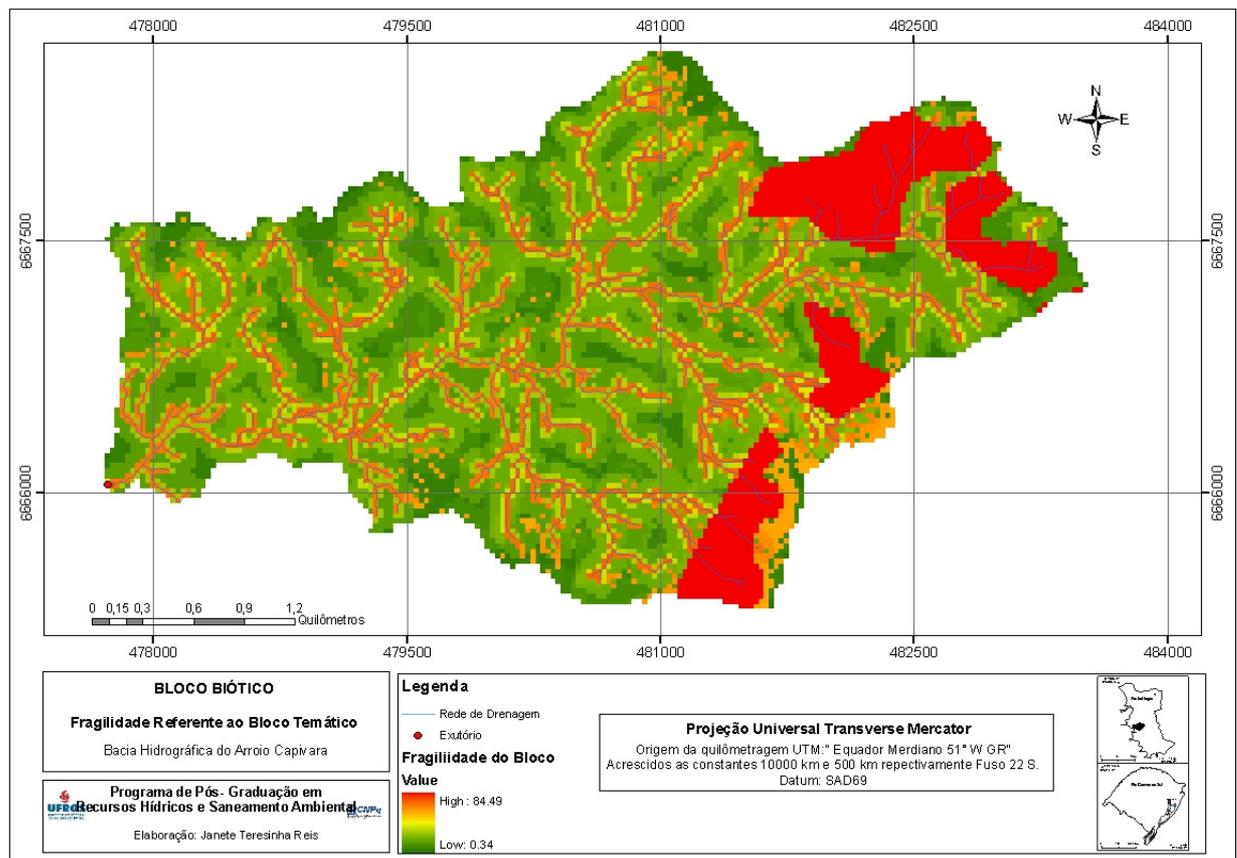


Figura 6.5 – Fragilidade ambiental do meio biótico na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS

Outra área de fragilidade ambiental é o entorno dos cursos de água, determinando uma zona extremamente frágil às espécies da fauna e flora terrestre, ressaltando, portanto, que esta área é restrição para a expansão urbana. Este critério não é atendido na maior parte, do entorno, e dos cursos de água. São áreas que devem ser preservadas permitindo que as espécies, incluindo fauna e flora, possam sobreviver realizando suas atividades e se propagam.

O importante é a máxima preservação da biodiversidade local. Desse modo, para proteger as espécies, é preciso proteger seus habitats. Considera-se ideal, a proteção das áreas de preservação permanente, tanto do entorno dos cursos de água, como em declividade igual ou superior a 30%, em benefício da diversidade biótica, tanto local, nacional, quanto global.

Partindo deste entendimento, as áreas de preservação permanentes na bacia hidrográfica do arroio Capivara (30 metros do entorno dos cursos de água e declividade igual e superior a 30%), foram consideradas como áreas de restrição absoluta (Figura 6.6).

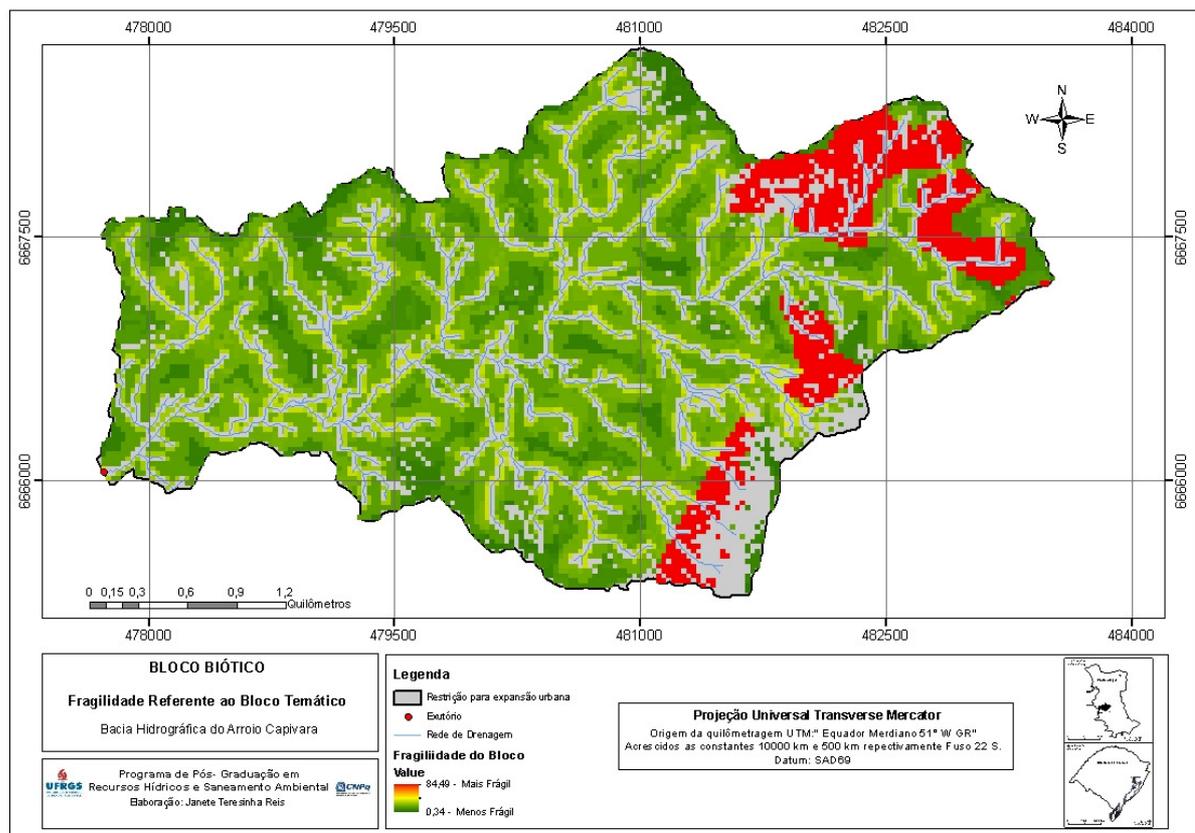


Figura 6.6 – Fragilidade ambiental do meio biótico com áreas de restrição absoluta na bacia hidrográfica do arroio capivara, Porto Alegre – RS.

Neste contexto, é fundamental que se reconheça a existência dos limites biológicos e físicos da natureza; considerados essenciais à estabilidade local, criando limites e possibilidades de estabelecer direções a serem tomadas para reduzirem os impactos negativos sobre o ambiente.

6.1.3 Meio antrópico

A análise integrada do meio antrópico resulta do índice de impermeabilidade, infraestrutura urbana, e conflito de uso e ocupação do solo. Esta permite apontar áreas onde a ação

antrópica ocorre de forma mais intensa e em conflito com as normas legais. Com a expansão urbana, geralmente ocorre à ocupação e destruição de áreas naturais, que se tornam urbanizadas ou antropizadas, gerando poluição por ausência de saneamento básico, ausência de infra-estrutura para tráfego de veículos, e outros problemas de ordem social, ambiental e econômica.

O processo de ocupação humana, geralmente ocorre no entorno dos cursos de água colocando em risco a sustentabilidade do desenvolvimento local, apesar da vigência formal de planos diretores, planos de drenagem urbana, leis de zoneamento, código de edificações, e outros instrumentos de ordenamento territorial. O processo de expansão urbana na bacia hidrográfica do arroio Capivara não foge desta realidade, ocorre de forma bastante desordenada, tornando-se palco de conflitos sócio-ambientais.

O homem desde os primórdios sempre buscou alternativas para prover suas necessidades físicas relativas à água, usufruindo assim, das margens de rios e córregos. Com o aumento da população e a concentração nos centros urbanos ocorre a pressão, e efluentes são gerados, cujas características físicas, químicas e biológicas provocam a degradação contínua e progressiva dos cursos de água, alterando-os em quantidade e qualidade.

A pressão sobre o ambiente urbano resulta das atividades antrópicas sobre o meio, impactando de forma intensa o ambiente. Com isso, não exercem a função de sustentar o ambiente para manter a estabilidade para com a natureza. Assim, a expansão urbana, sem o devido planejamento, causa mudanças de forma negativa, aumentando a poluição do ar, da água e do solo, e da cobertura vegetal; comprometendo a capacidade da natureza em regenerar-se. De acordo com Dias (2002 p.39), “as mudanças induzidas pelo ser humano ocorrem mais rapidamente e são, geralmente, mais difíceis de serem revertidas. Resolver essas disparidades é o único caminho para se assegurar um futuro mais sustentável para o planeta e para a sociedade”.

A ocupação do solo no entorno dos cursos de água do arroio Capivara e a aplicação prática da Lei de Uso do Solo não têm levado em conta a necessidade de manutenção das funções ecológicas, de modo a garantir sustentabilidade urbana e qualidade ambiental. Para tanto, na bacia hidrográfica a ação humana influencia diretamente na qualidade do ambiente, contribuindo na intensidade e aceleração dos processos ambientais naturais. Este fato pode ser observado pelas áreas de fragilidade ambiental encontradas na área de estudo.

As áreas de maior fragilidade antrópica ocorrem no entorno da malha viária e em locais isolados, pelas edificações urbanas, vias pavimentadas e áreas de conflito que são gerados devido à ocupação das áreas de APPs, tanto nas margens dos cursos de água, como em

declividades acima de 30%. Estes conflitos do uso e ocupação do solo (cor vermelha) são gerados pelos usos inadequados. As áreas de menor fragilidade antrópica ocorrem à montante da bacia hidrográfica e a oeste de forma isolada representada pela cor verde (Figura 6.7).

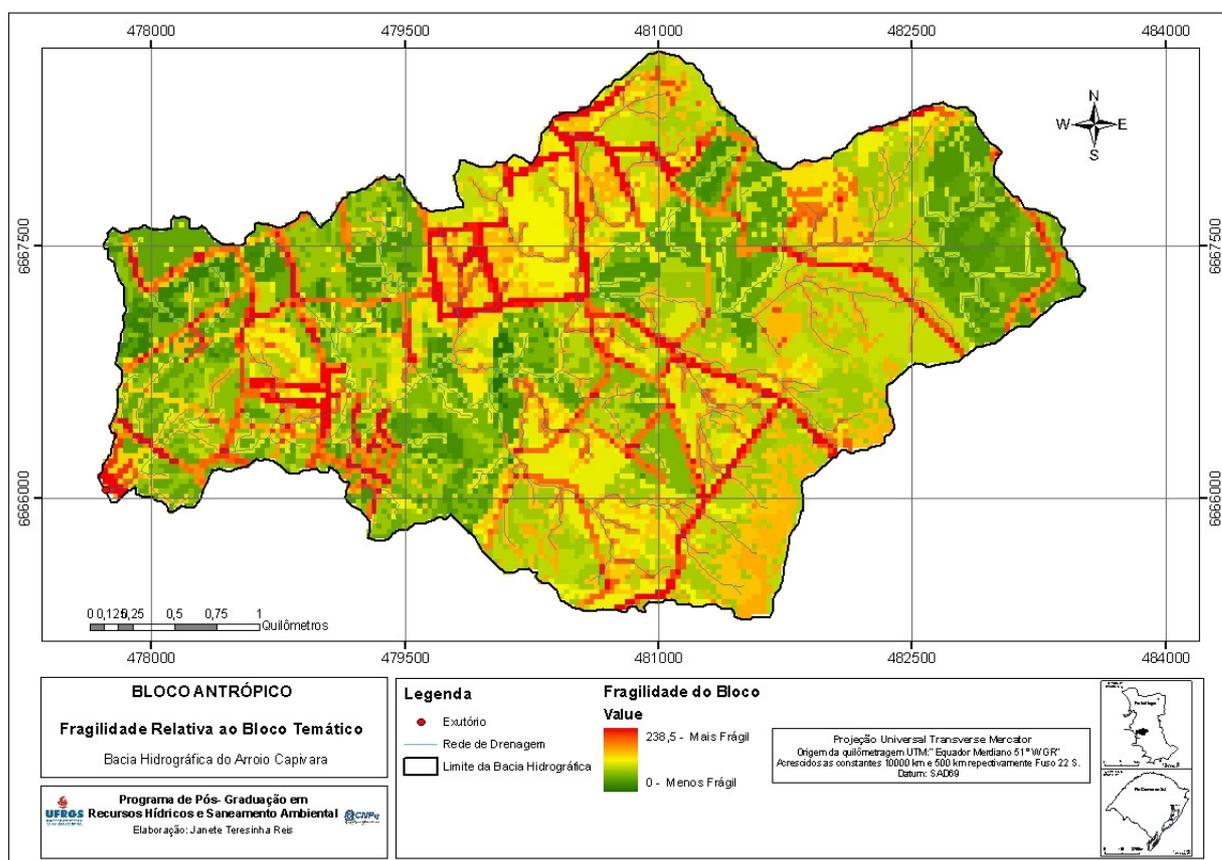


Figura 6.7 – Fragilidade ambiental do meio antrópico na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS

A área de estudo, ainda, apresenta um percentual significativo sem urbanização. Este é um fator positivo, pois permite intervir por meio de um planejamento integrado, apontando as áreas menos frágeis, e assim mais indicadas à ocupação urbana. Assim, o meio físico e biótico poderão ser valorizados no momento da intervenção antrópica.

No caso das áreas de grande fragilidade ambiental a tendência é intensificar a fragilidade no momento da expansão urbana. Desse modo, o resultado da integração dos três meios (blocos temáticos) em áreas menos frágeis para ocupação urbana, viabiliza o caminho para o menor impacto negativo sobre o ambiente, possibilitando o planejamento urbano integrado.

O planejamento urbano visa à gestão integrada dos recursos naturais, a identificação dos conflitos e os tipos de usos mais adequados às características ecológicas, de modo a prevenir

impactos negativos, e definir medidas necessárias para mitigar e/ou corrigir impactos ocorridos até o momento e os esperados para o futuro.

O grande desafio enfrentado pelo planejador urbano, nas últimas décadas, é a necessidade de seguir uma orientação ecológica, propor alternativas de gestão do espaço que levem em conta, simultaneamente, as crescentes limitações na oferta de recursos naturais e a própria qualidade do ambiente. Este último se constitui em um fator importante na qualidade de vida da população e dos recursos naturais renováveis.

Quanto à infra-estrutura da malha viária, sua expansão promove eficiência e melhorias no deslocamento de pessoas, acessibilidade à educação, à informação, à saúde, à comercialização de bens, à integração social e a criação de pólos industriais, comerciais e de lazer. Gera empregos, representando um fator positivo para a economia de um país, pois se os sistemas de transportes de uma região demonstram eficiência, logo, este fato contribuirá significativamente para o bem-estar dos cidadãos (RIBEIRO, 2005). Porém com todos estes benefícios, os sistemas de transportes maximizaram os impactos ambientais, e provocam alterações reversíveis e irreversíveis nos meios biótico, físico e antrópico onde está inserido.

A partir desta inter-relação, reconhece-se que os elementos constituintes dos meios físico, biótico e antrópico, são importantes para a manutenção dos recursos naturais, para a recuperação de áreas degradadas, e áreas para expansão urbana. Como não atuam de forma isolada na natureza, e sim uma complementa a outra, qualquer interferência em uma parte repercute no conjunto da bacia hidrográfica.

Este modelo se difere dos propostos por Ross (1991); Ross (1994); Kawakubo *et al.*, (2005); principalmente por adotar uma diversidade de variáveis, realizando em primeiro momento a inter-relação por aspecto temático, e posteriormente por bloco temático. Além de realizar a análise integrada de todo universo de estudo, traz uma relação entre os aspectos temáticos, ao definir onde deve-se recorrer ao prevenir: casos de erosão, inundação, instabilidade de encosta, maior fragilidade quanto a contaminação das águas, entre outros abordados.

Esta tese teve a preocupação, além de todo universo, detalhar por aspecto temático no intuito de enriquecer com informações a áreas de estudo, tanto no meio físico, biótico, como no antrópico. Porém, a ausência de dados para análise completa de algumas variáveis (contaminação das águas, biota aquática) limitou um pouco a inter-relação de forma a oferecer maior abrangência de dados. Mas isto, não torna o trabalho menos importante, ao contrário, a análise de consistência de dados e o detalhamento na escala adotada se diferem de todos os trabalhos realizados.

6.2 Cenários

6.2.1 Cenário atual do modelo

O cenário atual trata da análise integrada dos três blocos temáticos, apontando as APPs como áreas de restrição absoluta, e o aspecto contaminação das águas superficiais estimado por unidade censitária utilizando dados do IBGE (2000). Desta forma, as áreas situadas a trinta metros do entorno dos cursos de água, e as localizadas em declividades iguais ou superiores a 30% são apontadas como áreas restritivas para a expansão urbana. Porém, parte da área considerada restritiva apresenta conflito quanto ao uso e ocupação do solo. As áreas de menor fragilidade ambiental (em verde) são consideradas aptas a ocupação urbana, desde que realizados estudos ambientais locais que avaliem o grau de impacto e determine favorabilidade à ocupação antrópica, ou ao tipo de uso que o indivíduo está proposto a realizar (Figura 6.8).

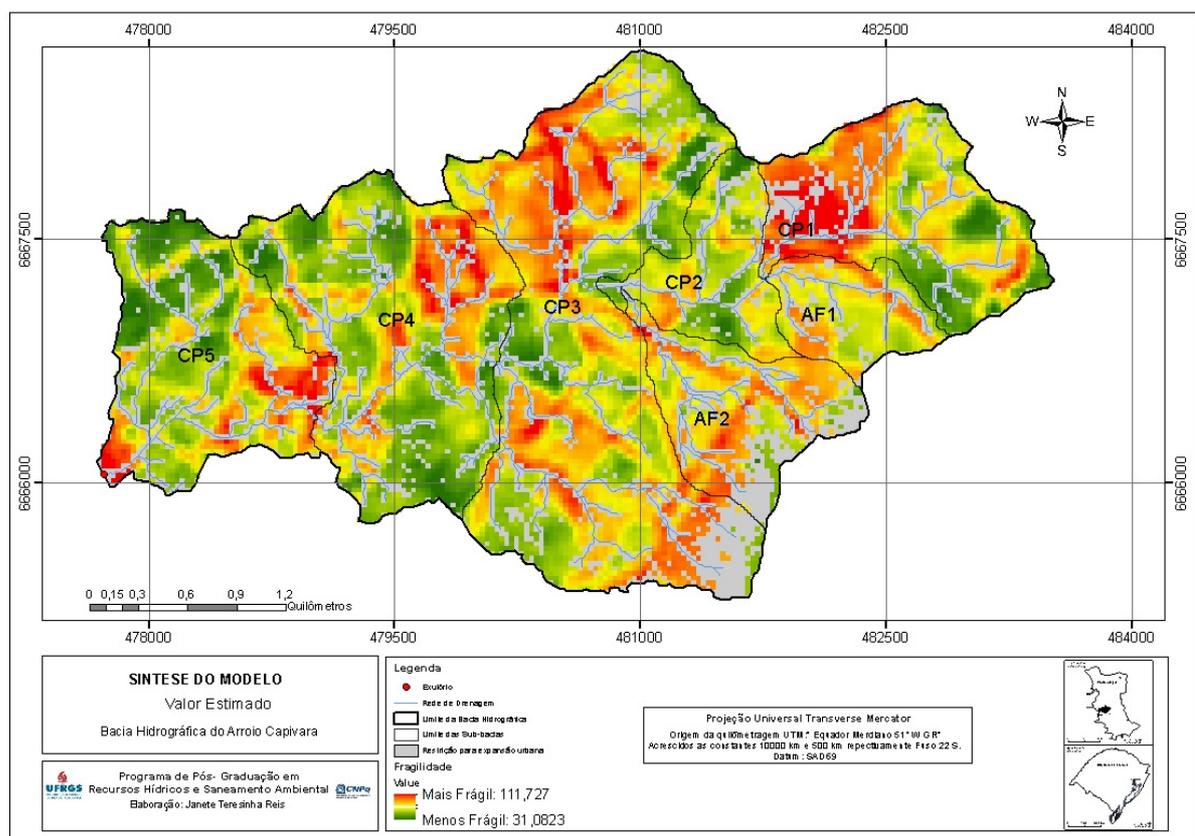


Figura 6.8 – Síntese da fragilidade ambiental do cenário atual conforme o modelo na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS

As áreas de maior fragilidade ambiental (em vermelho) são consideradas restritivas a ocupação urbana, porque apresentam alto grau de fragilidade, segundo a análise das variáveis do meio físico, biótico e antrópico. Nestas áreas recomenda-se a conservação, devido à

magnitude da fragilidade ambiental, e por serem áreas vulneráveis a desastres naturais, em caso de ocupações antrópicas.

Neste cenário, a área mais frágil está situada a montante da bacia hidrográfica, na bacia de contribuição 1 (CP1), junto ao canal principal e próximo da bacia de contribuição do afluente 1 (AF1).

Por ser uma das áreas de maior fragilidade ambiental deve ser mantida a cobertura vegetal. Em caso de ocupação antrópica poderá desencadear uma futura área de risco, principalmente em função da fragilidade dos fatores físicos que integram esta área.

Outra área de alta fragilidade ambiental localiza-se a margem direita da bacia hidrográfica, mais precisamente na bacia de contribuição 3 (CP3) e parte da bacia de contribuição 4 (CP4). Estas áreas exigem cuidados quanto ao uso e ocupação do solo, em virtude da fragilidade dos fatores físicos e da preservação biótica. Estende-se atenção à ocupação antrópica que está intensificando a fragilidade local.

Comparando este modelo aos de Ross (1991); Ross (1994); Crepani *et al.*, (1996); Spörl e Kawakubo *et al.*, (2005) e MMA (2009) trazem uma diferença básica que é o número de variáveis adotados para cada aspecto temático, bem como o objetivo proposto nos trabalhos. Todos os modelos se preocupam em abordar a área de estudo como um todo, sem direcionar preocupação na escala de detalhamento, porém, este se remete ao ambiente urbano, cujo objetivo consiste em prevenir a ocupação de áreas de alta fragilidade ambiental. Além da preocupação com a questão ambiental, almeja a prevenção da população que habita o meio urbano.

Esta é uma das razões fundamentais do modelo conceitual: como trazer sustentabilidade em ambiente onde ocorre alta concentração populacional sem ocupar áreas de alta fragilidade. Na bacia hidrográfica do arroio Capivara esta possibilidade ainda é viável. Por ser uma bacia hidrográfica com disponibilidade espacial e de recursos naturais, este planejamento sustentado torna-se possível e viável, uma vez que aproximadamente 60% da área ainda não foi impermeabilizado. Porém, exige uma readequação social, cultural, econômica e ambiental da população.

6.2.2 Cenários especiais

6.2.2.1 Cenário atual de dados estimados

Este cenário integra as variáveis do meio físico, biótico e antrópico, porém, para o aspecto contaminação das águas superficiais os dados foram estimados por bacia de

contribuição. A partir dos dados estimados IBGE (2000), as áreas de maior fragilidade ambiental, situam-se a montante da bacia hidrográfica, junto a bacia de contribuição 1 (CP1) e bacia de contribuição 3 (CP3), além de algumas áreas do entorno do canal principal (Figura 6.9).

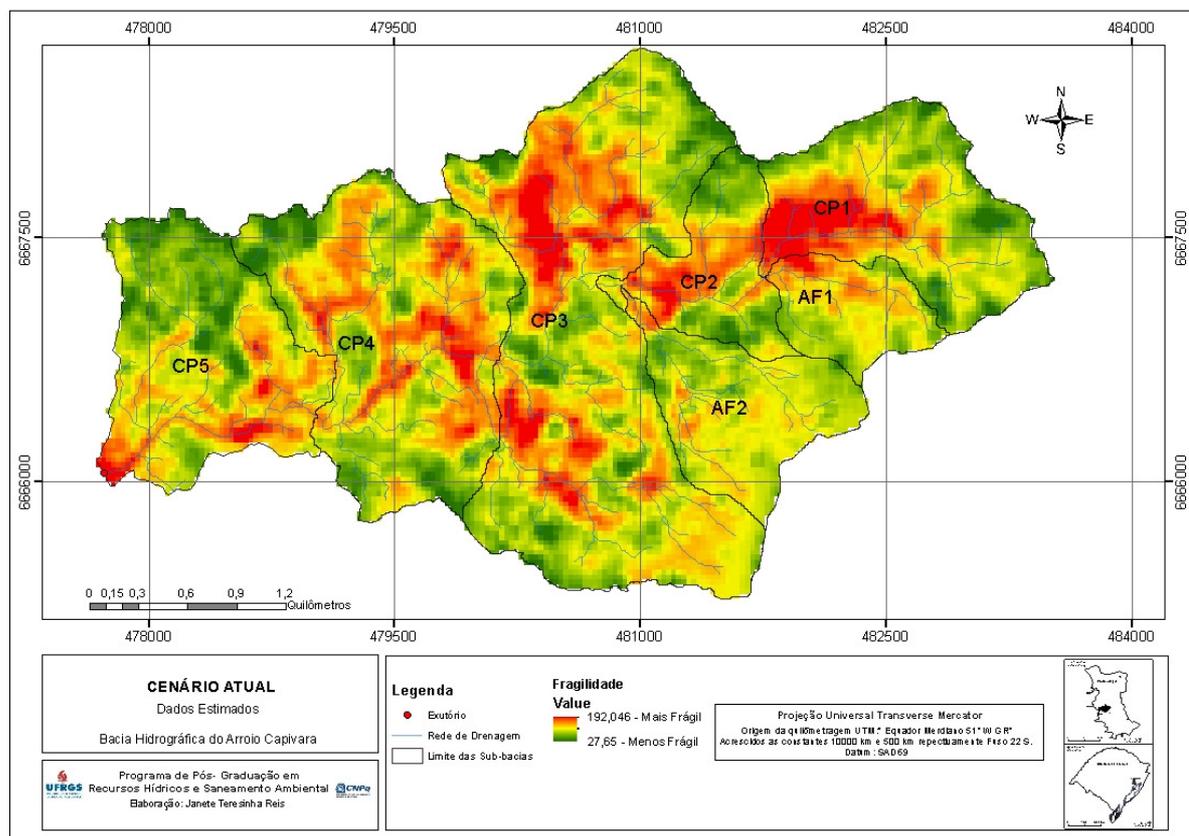


Figura 6.9 – Síntese da fragilidade ambiental do cenário atual com dados estimados por bacia de contribuição na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS

Na bacia de contribuição 4 (CP4) também, encontram-se algumas áreas de alta fragilidade ambiental, assim como na foz. Desse modo, as áreas menos frágeis ou potenciais à ocupação urbana encontram-se espalhadas e merecem estudos locais. Cabe ressaltar que, esta bacia de contribuição apresenta uma grande concentração urbana, inclusive esta concentração se estende da metade até a foz da bacia hidrográfica (Figura 6.8).

Com o propósito de definir áreas para expansão urbana e licenciamentos ambientais, as cores representadas em verde na figura 6.9 são consideradas como de baixa fragilidade ambiental, portanto, ambientalmente as mais favoráveis para ocupação urbana (valor ambiental entre 0 e 80 bytes). As áreas sujeitas a intervenções para adequação do uso e ocupação do solo, representadas em cor vermelha, são as de alta fragilidade ambiental (valor entre 140 e 200). As demais áreas foram consideradas como de média fragilidade (valor ambiental entre 80 e 140). Cabe ressaltar que áreas de extrema fragilidade ambiental não

foram encontradas na área de estudo (valores entre 200 e 255) segundo o modelo de AFA BAURB.

6.2.2.2 Cenário atual de dados medidos

Este abarca a inter-relação do meio físico, biótico e antrópico, porém, no aspecto contaminação das águas superficiais os dados foram medidos a campo, onde utilizou-se o carbono orgânico dissolvido para determinar a fragilidade por bacia de contribuição por ponto de coleta de água. As fragilidades foram obtidas a partir do valor do carbono orgânico dissolvido na água e sua hierarquia foi estabelecida, tendo como princípio quanto maior o carbono orgânico dissolvido presente na água, maior a fragilidade ambiental daquela bacia de contribuição.

Com base no afirmado, a maior fragilidade ambiental, neste cenário, está situada na bacia de contribuição 5 (CP5), bacia de contribuição 4 (CP4) e bacia de contribuição 1 (CP1) seguindo esta hierarquia (Figura 6.10). Este fato se deve a presença de carbono orgânico dissolvido, o qual em percentual elevado gera contaminação da água superficial.

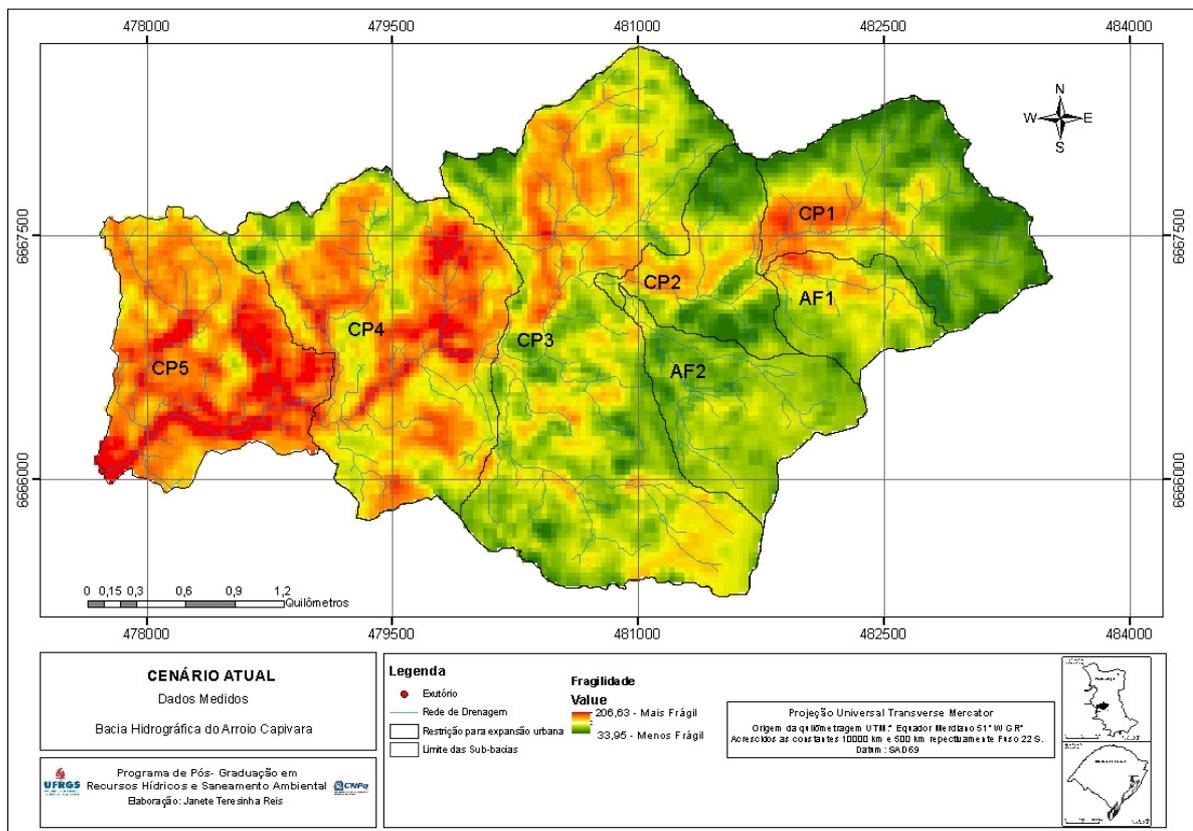


Figura 6.10 – Síntese da fragilidade ambiental do cenário atual a partir de dados medidos a campo na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS

A menor fragilidade ambiental está localizada próximo ao divisor da água a montante da bacia hidrográfica, e na bacia de contribuição Afluente 2 (AF2), a qual pode ser considerada a bacia de maior área, para possível expansão urbana, referindo-se somente a esta variável.

6.2.3 Cenário conservativo ou ideal

O cenário conservativo ou ideal corresponde à inter-relação das variáveis do meio físico, biótico e antrópico, atendendo as normas oficiais do Código Florestal Federal (1965) quanto a cobertura de mata ciliar no entorno dos cursos de água e do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre (2000) referente à classe de declividade igual ou superior a 30% para bacias hidrográficas urbanas, as quais devem ser preservadas.

Para o cenário conservativo, as margens dos cursos de água da bacia hidrográfica do arroio Capivara devem ser preservadas sem interferência antrópica 30 metros de ambos os lados, assim como as declividades iguais ou superiores a 30% devem ser preservadas com vegetação nativa, de preferência (Figura 6.11).

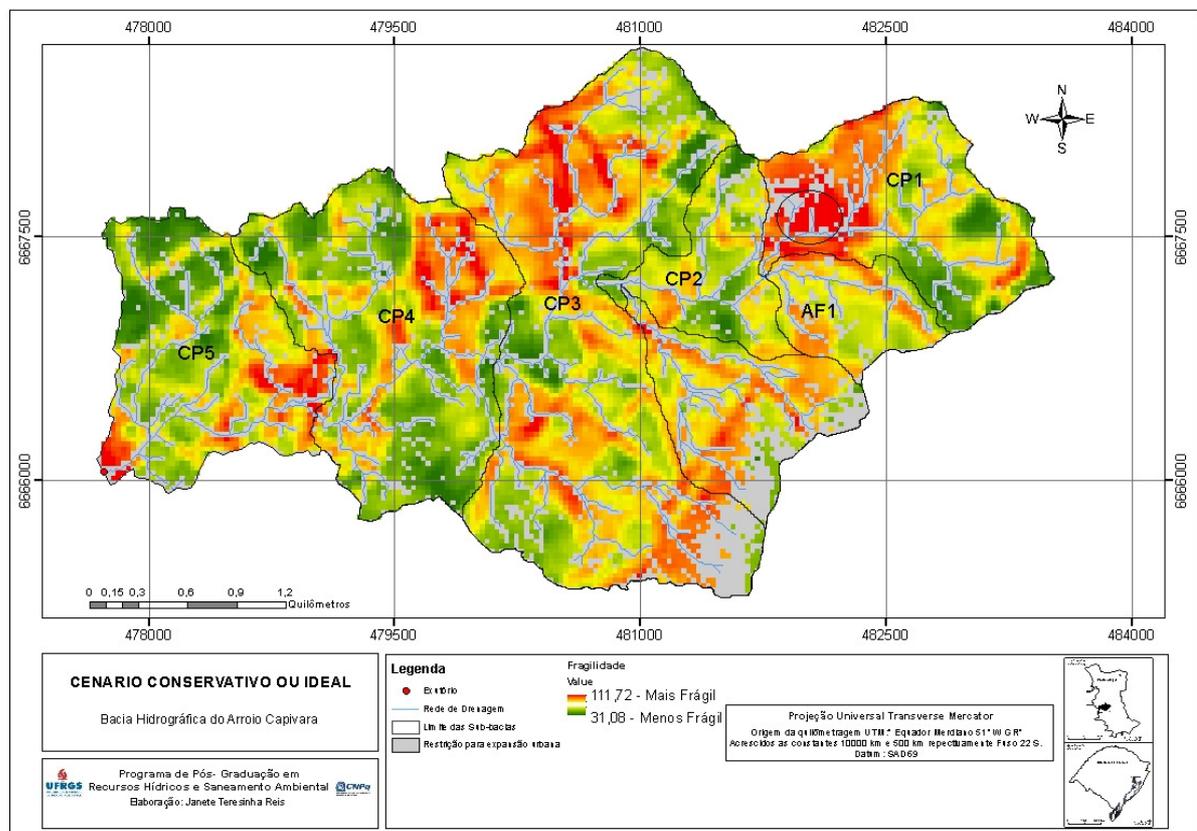


Figura 6.11 – Síntese da fragilidade ambiental do cenário conservativo ou ideal na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS

Por esse motivo, foram consideradas áreas de restrição absoluta, ou seja, tanto as margens dos cursos de água, como as declividades mencionadas deveriam ser intactas por lei “intocáveis”. Mas, comparando, as áreas marginais da bacia hidrográfica do arroio Capivara com as declividades iguais ou superiores a 30%, são as margens que mais sofrem pressão pela presença de habitações, tornando-se áreas de conflito, assim como, áreas com potencial à inundação.

Para tanto, considera-se ideal se a área considerada no mapa como restrição absoluta correspondesse à preservação de mata ciliar e mata nativa nas declividades mencionadas. Outro fator a se considerar, são as áreas mais frágeis (em vermelho). Nestas áreas devem-se criar meios de recuperação ambiental, por estarem susceptíveis as intempéries naturais que estão sendo intensificadas pela pressão humana. Desse modo, a presença de cobertura vegetal é primordial para impedir futuros desastres no local, neste caso, mais precisamente, à área frágil a montante da bacia hidrográfica, que está destacada com círculo.

6.2.4 Cenário de recuperação urbana

O presente cenário identifica as áreas em conflito e procura definir estratégias, tendo em vista a melhoria das áreas de maior fragilidade ambiental, estabelecendo ordens de prioridade para o início da recuperação, bem como hierarquização e definição de medidas mitigadoras para diminuir o conflito das áreas mais frágeis.

Para a recuperação do atual nível de fragilidade ou estágio de conflito propõe-se a hierarquização de montante a jusante da bacia hidrográfica do arroio Capivara. Desse modo, a prioridade será dada a bacia de contribuição CP1, uma vez que esta influencia em todas as bacias a jusante, assim como na própria área da bacia, onde qualquer alteração em parte desta unidade de planejamento interfere no contexto geral de toda a bacia hidrográfica

Com este propósito, a recuperação das áreas frágeis deve iniciar a montante da bacia hidrográfica, seguindo em direção a jusante da bacia de contribuição, dando prioridade para a bacia de contribuição CP1 com a instalação de um separador absoluto junto à seção de saída ou foz da bacia CP1. O sistema separador absoluto tem como característica principal uma rede coletora de esgotos sanitários e outra exclusiva para águas pluviais, o que não ocorre na área de estudo. Este método contribui na melhoria do sistema coletor de esgotos, assim como viabiliza o re-planejamento de toda a bacia urbana.

Segundo a norma brasileira NBR-9648 da ABNT (1986) conceitua-se o sistema separador absoluto, como o conjunto de condutos, instalações e equipamentos destinados a

coletar, transportar, condicionar, e encaminhar, somente esgoto sanitário a uma disposição final conveniente, de modo contínuo e higienicamente seguro.

Posteriormente, este procedimento pode ser adotado para as bacias de contribuição: Afluente 1 (AF1), Afluente 2 (AF2), Capivara 2 (CP2), Capivara 3 (CP3), Capivara 4 (CP4) e Capivara 5 (CP5), embora na foz da bacia hidrográfica tenha um interceptor de água do DMAE.

Outro método, também considerado eficiente trata-se da implantação das bacias de retenção ou caixas de captação de sedimentos de montante a jusante da bacia hidrográfica em locais adequados, podendo contemplar as mesmas bacias de contribuição. Este método visa à retenção de sedimentos, evitando a formação de bancos de areia dentro do leito do rio. Este procedimento minimiza os efeitos adversos em dias de fortes precipitações pluviais, garantindo o escoamento pluvial em direção a jusante da bacia, prevenindo o acúmulo de areia, que muitas vezes, ocasiona o extravasamento da água para as margens, inundando as áreas próximas.

As áreas de alta fragilidade ambiental do entorno dos cursos de água e nas declividades iguais ou superiores a 30%, constituem-se áreas em conflito. Nestas partes da bacia hidrográfica os usos e a ocupação do solo ocorrem de forma inadequada, principalmente com instalações habitacionais nas margens do Arroio, e em declividades superiores ao recomendado, assim como, desenvolvimento da agricultura urbana, ente outros usos. Para tanto, a regeneração da mata ciliar é outra forma de recuperar as margens dos cursos de água, ou seja, a área de restrição absoluta apontada na figura 6.12.

A realocação das famílias que habitam as margens é primordial, seguido do cercamento das margens dos arroios e introdução de pesquisas para verificar as espécies nativas da área em destaque. Em muitos casos, somente o cercamento das áreas permite a regeneração de algumas espécies de flora nativa, mas recomenda-se pesquisas que identifiquem o nível de deterioração do ambiente e renovação da flora.

A flora nativa e a mata ciliar desempenham papel de filtro natural, considerado importante, na proteção dos cursos d'água, contra o assoreamento e contaminação por defensivos agrícolas, poluentes e sedimentos, que muitas vezes, são transportados para o curso d'água. Além destes, afetam a quantidade e a qualidade da água, repercutindo diretamente na fauna aquática e na população humana local.

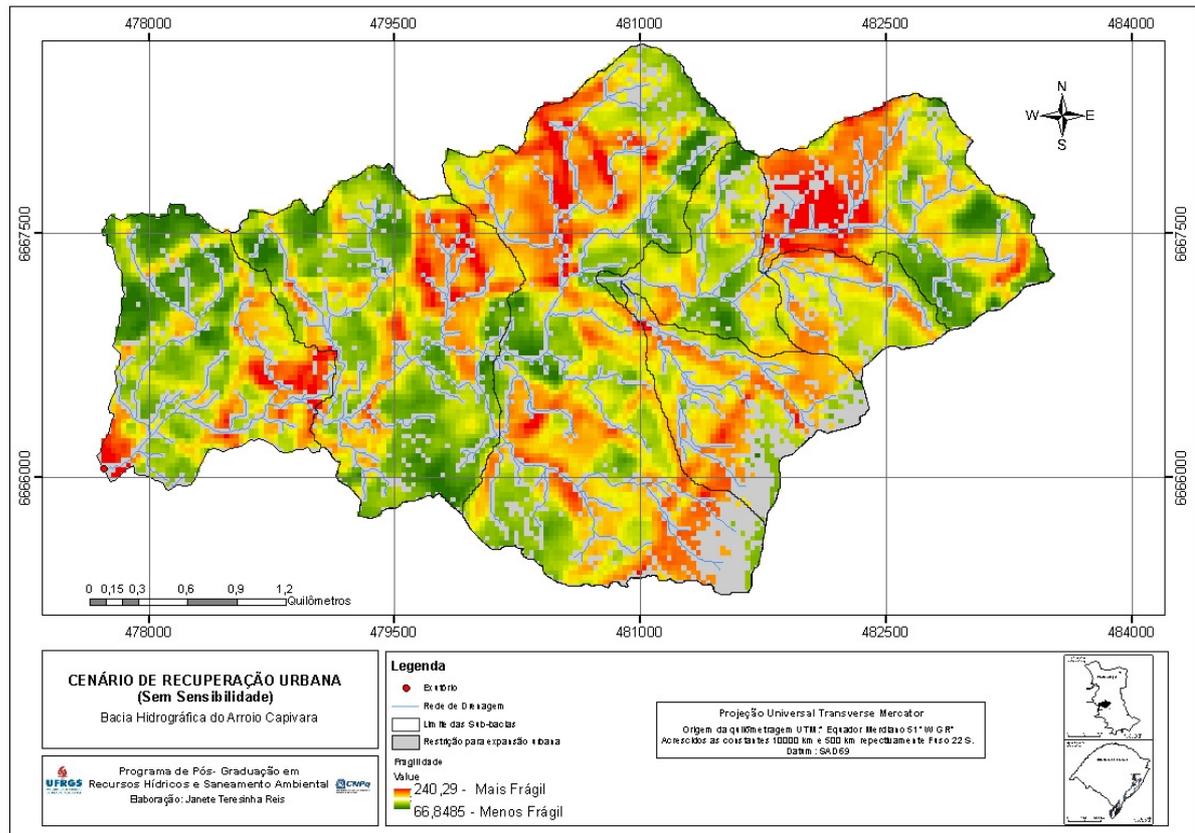


Figura 6.12 – Síntese da fragilidade ambiental do cenário de recuperação urbana com área de restrição absoluta na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS

A recuperação por vegetação nativa nas declividades iguais ou superiores a 30% são de extrema importância. Estas áreas, situadas entre as partes mais altas da bacia hidrográfica em muitos casos, se constituem nos únicos remanescentes florestais, essenciais para a conservação da fauna, importantes por servirem de corredores ecológicos, ligando fragmentos florestais, e facilitam o deslocamento da fauna e o fluxo gênico entre as populações de espécies animais e vegetais. Além disso, exercem a proteção do solo contra os processos erosivos, prevenindo o desencadeamento de ravinas, onde a água é o principal fator de erosão do solo em áreas desprotegidas de cobertura vegetal.

A cobertura vegetal, também, é um filtro que minimiza o acúmulo de solo nos canais fluviais. Um grande desafio na recuperação de matas ciliares consiste no crescimento da cobertura vegetal sem intervenção antrópica, tendo em vista a reconstituição de um ecossistema auto-sustentável. Por meio da regeneração natural, as matas apresentam capacidade de se recuperarem de distúrbios naturais e antrópicos, desde que não estejam em estado muito avançado de degradação.

A mata degradada não consegue chegar a resiliência e uma mata perturbada promove a regeneração e conduz a vegetação até chegar a uma comunidade estruturada e mais estável em busca de sua resiliência.

6.3 Ensaio de sensibilidade

A análise de sensibilidade procura determinar o efeito de uma variável do aspecto temático com relação as demais, ou ao seu valor total. Para tanto, a partir dos aspectos com mais de três variáveis, realizou-se ensaios de sensibilidade por meio da correlação, mantendo um cenário homogêneo, onde os pesos dos fatores são iguais e os demais ponderados. Este é um procedimento importante e útil para determinar a importância de uma variável sobre o resultado final de outra.

Dessa forma, as variáveis receberão valores alternadamente, e algumas variáveis poderão ser ignoradas parcialmente, para analisar alternadamente a fragilidade deste bloco temático. Somente efetuou-se o ensaio de sensibilidade dos aspectos temáticos de três ou mais variáveis, tendo em vista que, duas ou menos variáveis seguem a mesma tendência, ou seja, não discriminam a variável.

6.3.1 Aspecto estabilidade de encosta

A variável que apresenta maior discriminação para a estabilidade de encosta é a geologia. A geologia desempenha um papel importante para a estabilidade da encosta, tendo em vista que, as formações geológicas interferem na estrutura original, podendo estar mais ou menos susceptível aos eventos naturais para potencializar um desastre, embora a declividade, também seja importante (Gráfico 6.1).

Estas duas variáveis agem concomitantemente. Em uma declividade acentuada, com uma formação geológica menos frágil, a probabilidade de ocorrer um deslizamento é menor do que em uma formação mais frágil, avaliando o mesmo grau de declive com as unidades geológicas. Desta forma, a variável geologia apresenta maior importância e deve receber valor 0,5 do total de 1.

O valor maior a ser definido para três variáveis conjuntamente é de 0,5 uma vez atribuindo 0,5 a uma variável, as demais receberão valores inferiores. Em três variáveis, a maior sensibilidade é apresentada a uma variável, e as demais recebem valor dividindo 0,5 até

atingir o valor 1. Os valores atribuídos após a análise da sensibilidade foram: geologia 0,5 por ser a mais importante, declividade 0,4 e a morfologia 0,1.

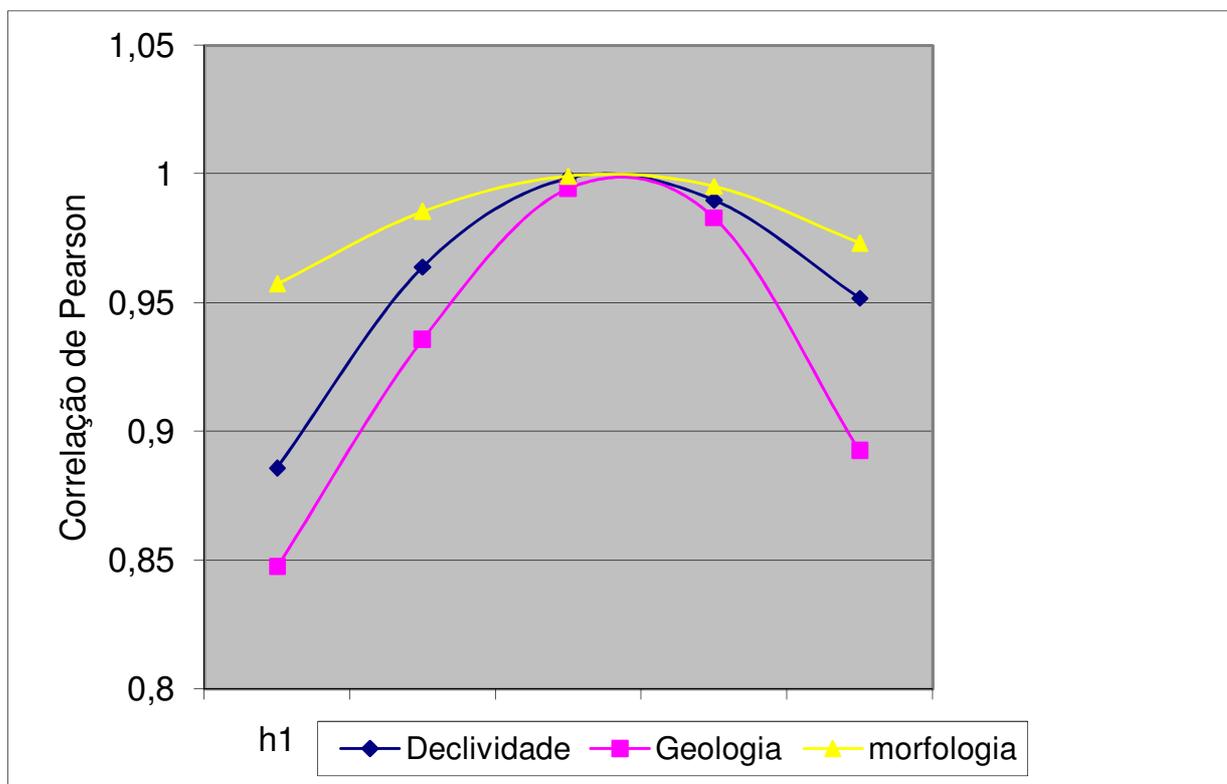


Gráfico 6.1 – Análise da sensibilidade do aspecto estabilidade de encosta

Das características evidenciadas, levou-se em consideração a dinâmica da inter-relação existente entre declividade, geologia e morfologia. Pois, estes resultam quase sempre na maior ou menor instabilidade, quando ligados aos componentes predispostos para algum tipo de impacto. Impacto ambiental é a expressão utilizada para caracterizar uma série de modificações causadas ao meio ambiente que influenciam na estabilidade dos ecossistemas e podem comprometer a fauna, a flora, os rios, e a qualidade de vida dos seres.

A dinâmica da inter-relação existente entre as encostas e os vales fluviais permite avaliar melhor as constantes trocas de causa e efeito entre os elementos da bacia hidrográfica, pois, verifica-se que no encadeamento dos fenômenos e dos fatores ambientais, os efeitos de uma causa, tornam-se causas de outros efeitos (COIMBRA, 2004).

A partir do momento em que a vertente começa a ser ocupada, inicia sérias mudanças na composição ambiental de algumas partes da bacia hidrográfica que irão afetar outras áreas situadas a jusante. Assim, a retirada da vegetação e o uso do solo em áreas impróprias, repercutem no elo da cadeia dos sistemas naturais que associados aos tipos de solo, clima e relevo podem condicionar a instabilidade de uma encosta propiciar processos erosivos que

afetam os subsistemas com maior ou menor intensidade. Estes formam um conjunto extremamente variado e rico que, sem a intervenção antrópica se auto-regulariam para manter o próprio equilíbrio (COIMBRA, 2004) “ou se diria a própria estabilidade” (acrescentado).

6.3.1.1 Fragilidade da estabilidade de encosta, após ensaios de sensibilidade

Esta fase procede, uma etapa da análise de sensibilidade realizada para discriminar as variáveis indicadoras. A partir deste entendimento, foram avaliadas as modificações dos resultados de acordo com a sensibilidade do modelo e com base na nova composição de pesos foi gerado, novamente o aspecto, resultando no mapa de sensibilidade quanto à fragilidade da estabilidade de encosta.

As áreas de maior fragilidade ambiental concentram-se no entorno do curso fluvial principal, com maior destaque da metade em direção a montante da bacia hidrográfica (Figura 6.13).

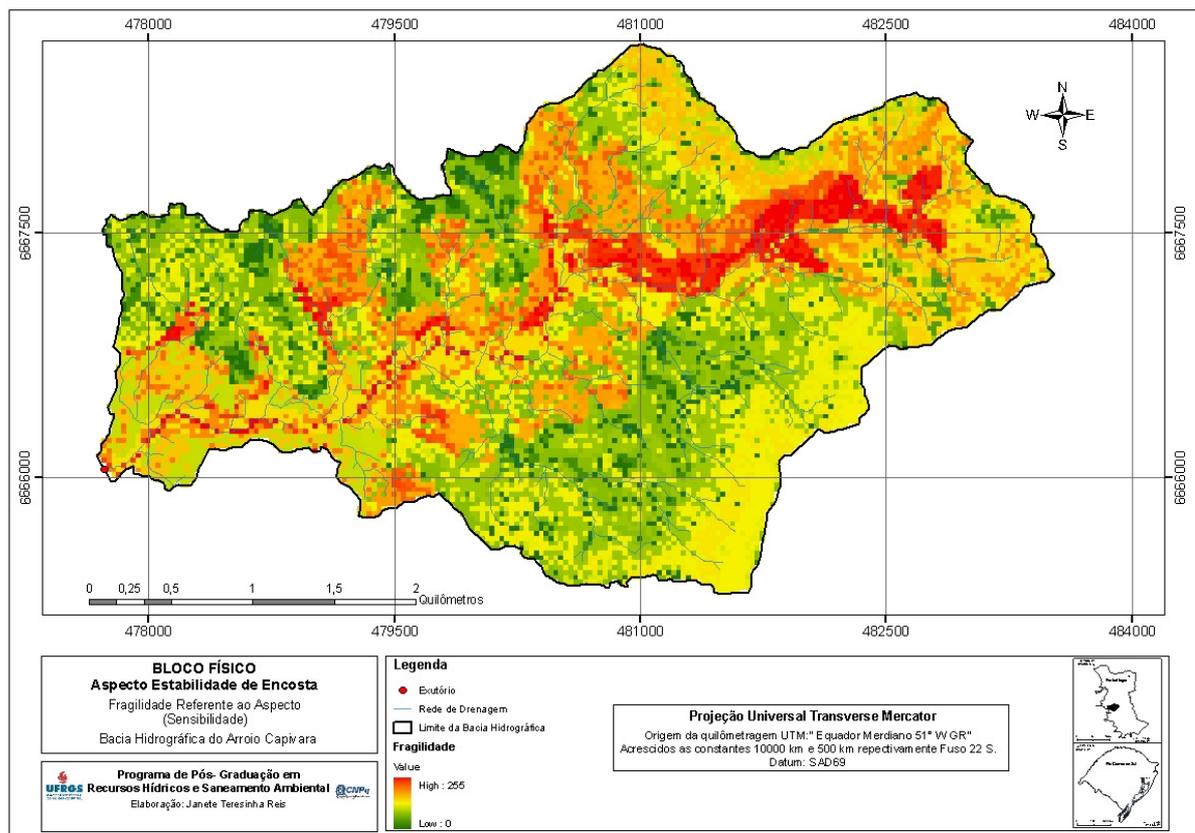


Figura 6.13 - Fragilidade da estabilidade de encosta após ensaios de sensibilidade na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS

Observa-se uma pequena diferença entre os mapas: antes dos ensaios de sensibilidade, na margem esquerda da bacia hidrográfica as áreas de fragilidade eram mais representativas,

pois, teve-se a diminuição da intensidade da fragilidade. Em contrapartida, a margem direita apresentou um pequeno aumento da intensidade de fragilidade, após análise de sensibilidade. Este fato se deve a discriminância da formação geológica, a qual exerce maior influência para a ocorrência de instabilidade de uma encosta.

6.3.2 Aspecto fragilidade à erosão

A variável denominada de incremento, ou seja, buffer de 30 metros do entorno dos cursos d'água não varia muito, em relação às outras variáveis, logo, os pesos que serão atribuídos são indiferentes. Desta forma, esta variável pode receber qualquer valor que não varia muito o grau de fragilidade da área de estudo. Porém, a variável declividade e o solo apresentam uma variação mais significativa (Gráfico 6.2).

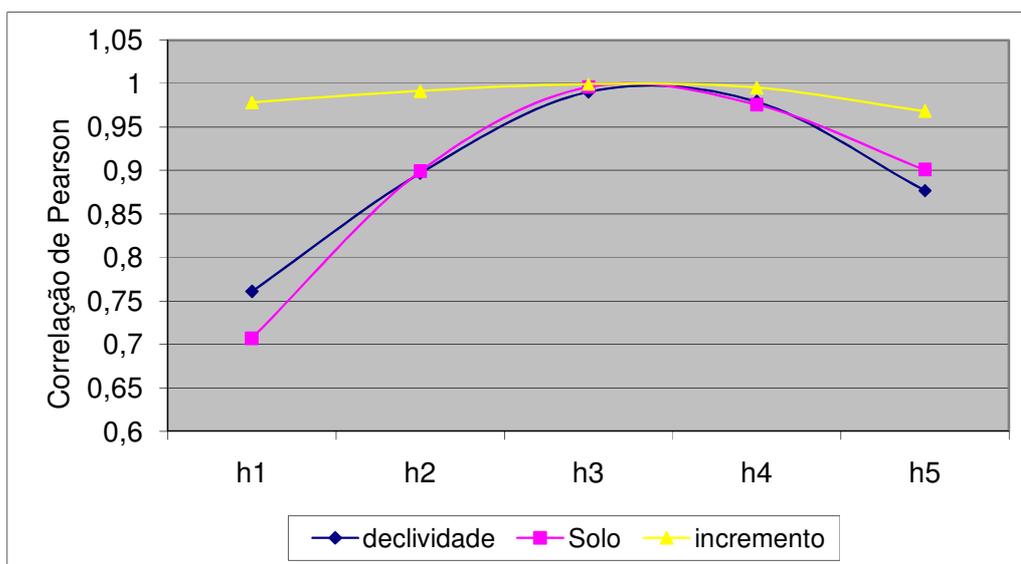


Gráfico 6.2 – Análise da sensibilidade do aspecto fragilidade à erosão

A variável de maior discriminação corresponde ao solo, em primeira instância e a declividade em segunda instância, porém não apresentam muita variação uma em relação a outra. Logo, o peso atribuído deve ser à variável de maior variação. Desse modo, para este aspecto o que mais influencia é o tipo de solo.

Considerando os tipos de solos, em uma mesma declividade a ação erosiva ou o intemperismo atuam de formas diferentes, podendo ser maiores ou menores dependendo do tipo de solo. O solo arenoso facilita a infiltração da água e não mantém a coesão, facilitando o processo erosivo. Já os argilosos, são mais resistentes aos processos erosivos e apresentam maior coesão. Assim, os solos arenosos são mais frágeis que os solos argilosos. Portanto, a composição do solo é um fator importante para a maior ou menor incidência de erosão.

Os solos arenosos, independentemente do clima e da fertilidade natural, constituem ambientes muito frágeis e são aqueles que apresentam em torno de 85% ou mais de fração arenosa. Para tanto, considerando uma mesma declividade, a ação erosiva pode ser maior ou menor dependendo do tipo de solo. Assim, ressalta-se a maior importância da variável solo, a qual recebeu valor 0,5 do total de 1. Os valores atribuídos as variáveis foram: solo - 0,5; declividade - 0,4 e incremento 0,1.

Todos os fatores como: solo, relevo, clima, cobertura vegetal, etc, estão diretamente associados e interferem no conjunto, provocando maior ou menor erosão de acordo com as características particulares de cada um. Estes, quando combinados ao uso e ocupação inadequados do solo, contribuem para o agravamento dos problemas ambientais, que resultam em uma série de conseqüências para os ecossistemas locais, entre eles a aceleração do processo erosivo.

6.3.2.1 Fragilidade à erosão após análise de sensibilidade

Após ensaios de sensibilidade, as áreas de maior fragilidade ambiental referente à erosão continuam próximas do curso de água principal, assim como em altitudes elevadas, porém, mais frágeis (Figura 6.14).

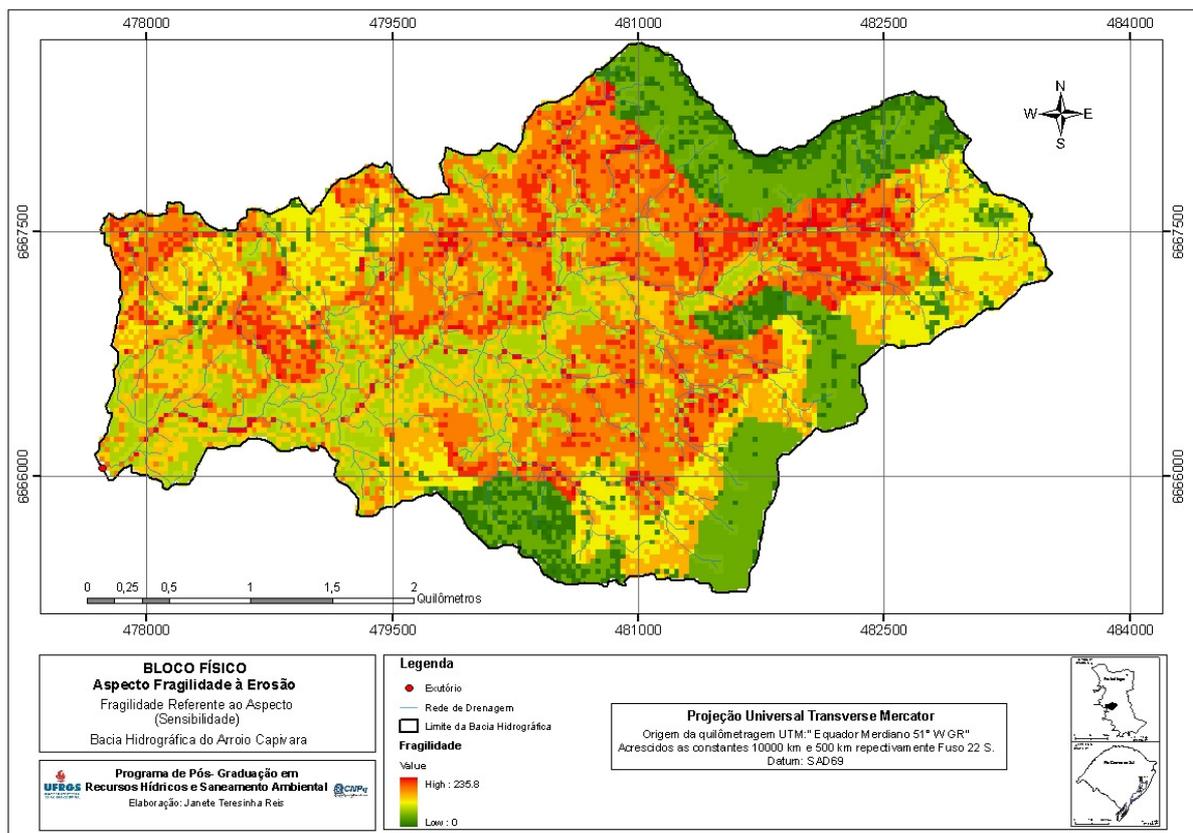


Figura 6.14 - Fragilidade da erosão após ensaios de sensibilidade na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS

Estas áreas apresentam maior potencial e destaque aos efeitos erosivos, tornando o solo o fator que exerce maior influência e discriminância. Para tanto, as áreas de maior fragilidade localizam-se à margem direita da bacia hidrográfica do arroio Capivara e as áreas menos frágeis encontram-se ainda protegidas por vegetação.

6.3.3 Aspecto geologia/morfologia

A variável água subterrânea e a morfologia não variam muito, logo os pesos que serão atribuídos são indiferentes. Desta forma, esta variável pode receber qualquer valor que não varia muito o grau de fragilidade da área de estudo (Gráfico 6.3).

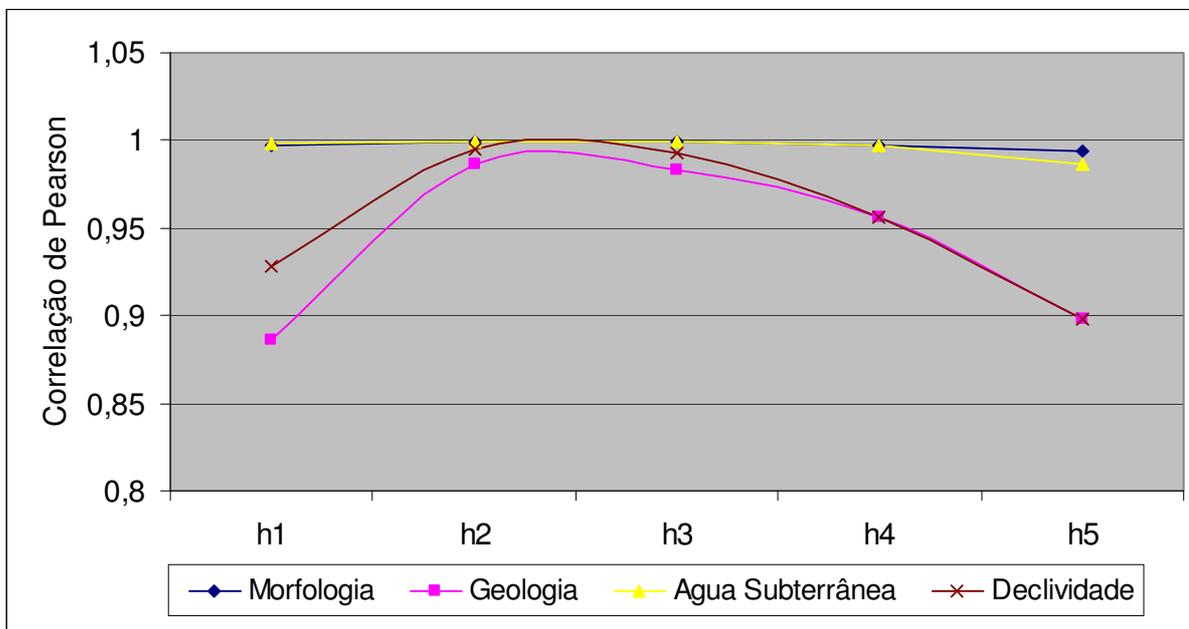


Gráfico 6.3 – Análise da sensibilidade do aspecto geologia/morfologia

Em contrapartida, a variável geologia e a declividade apresentam uma variação mais significativa. Desse modo, no aspecto geologia/morfologia o que mais influencia é a geologia, sendo considerada, portanto, a mais significativa para este aspecto. A geologia determina a formação e a origem das unidades geológicas que interferem na morfologia, declividade e na decomposição física e química da água subterrânea. Entre as rochas mais duras é considerada a formação geológica mais frágil aquela que apresenta fraturas e falhamentos. Por ser mais frágil o índice de vulnerabilidade da água é maior e conseqüentemente, maior probabilidade de conter contaminantes na água.

Portanto, a geologia apresenta maior importância e atribuiu-se o valor 0,4 do total de 1. Acrescenta-se também, que as formações geológicas representadas pela litologia podem ser

mais ou menos frágeis quanto à resistência ao intemperismo. Assim, os valores atribuídos foram os seguintes: geologia - 0,4; declividade - 0,3; morfologia - 0,15 e água subterrânea - 0,15, totalizando 1.

6.3.3.1 Fragilidade da geologia/morfologia após análise de sensibilidade

As áreas de maior fragilidade ambiental ocorrem no entorno dos cursos de água, principalmente do curso principal, apresentando pequena variação com relação ao aspecto sem ensaio de sensibilidade. As áreas mais frágeis, também são encontradas próximas a foz, demonstrando a fragilidade da geologia nesta porção, embora a montante da bacia ocorra de forma mais intensa. (Figura 6.15).

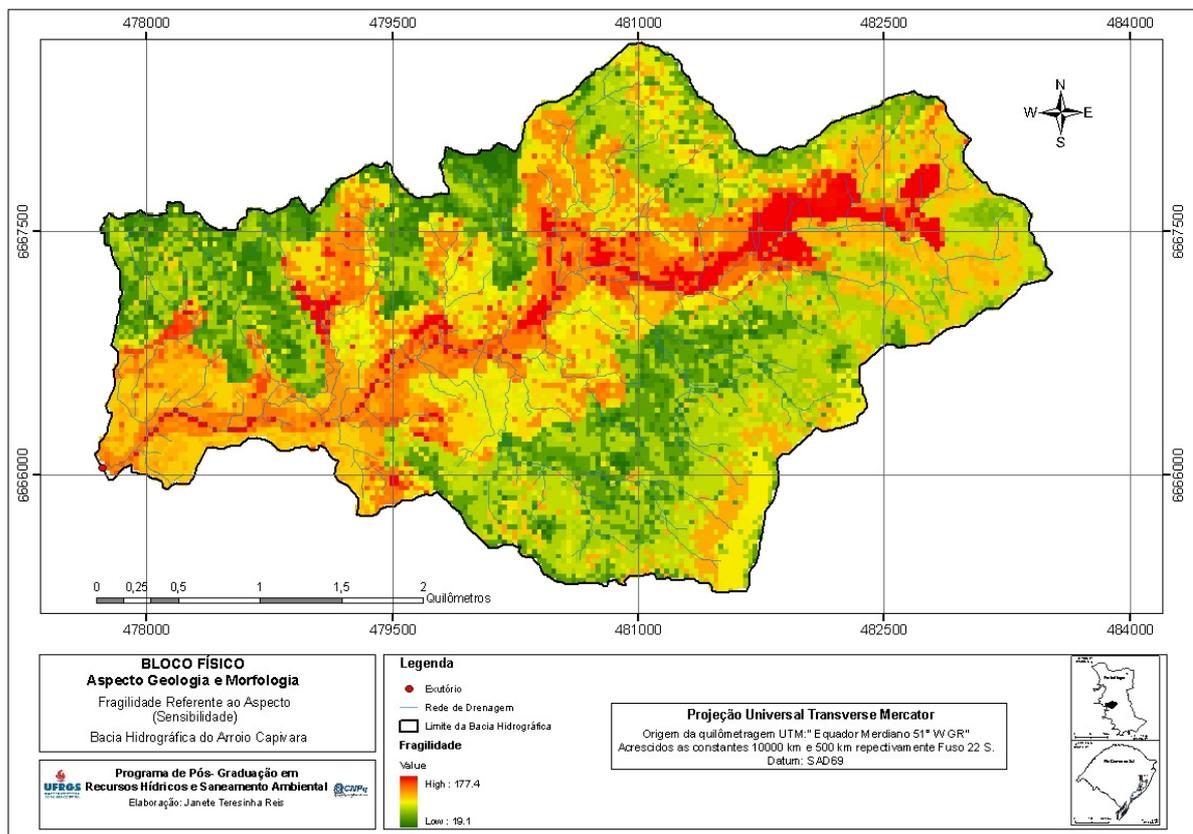


Figura 6.15 - Fragilidade da geologia/morfologia após ensaios de sensibilidade na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS

6.3.4 Aspecto risco de inundação

As variáveis que apresentam maior discriminância para este aspecto são: a declividade e a ordem dos cursos de água. Ao ocorrer inundação em declividades mais suaves a tendência é de acumular água, enquanto que em declividades mais acentuadas a tendência é de acelerar o escoamento superficial, uma vez que nas nascentes, cuja declividade mais acentuada ocorre o rápido deslocamento da água para as partes inferiores em direção a foz. Da mesma forma, procede a ordem dos cursos de água, quanto mais em direção a foz maior a ordem dos cursos de água e maior o acúmulo de água na bacia hidrográfica (Gráfico 6.4).

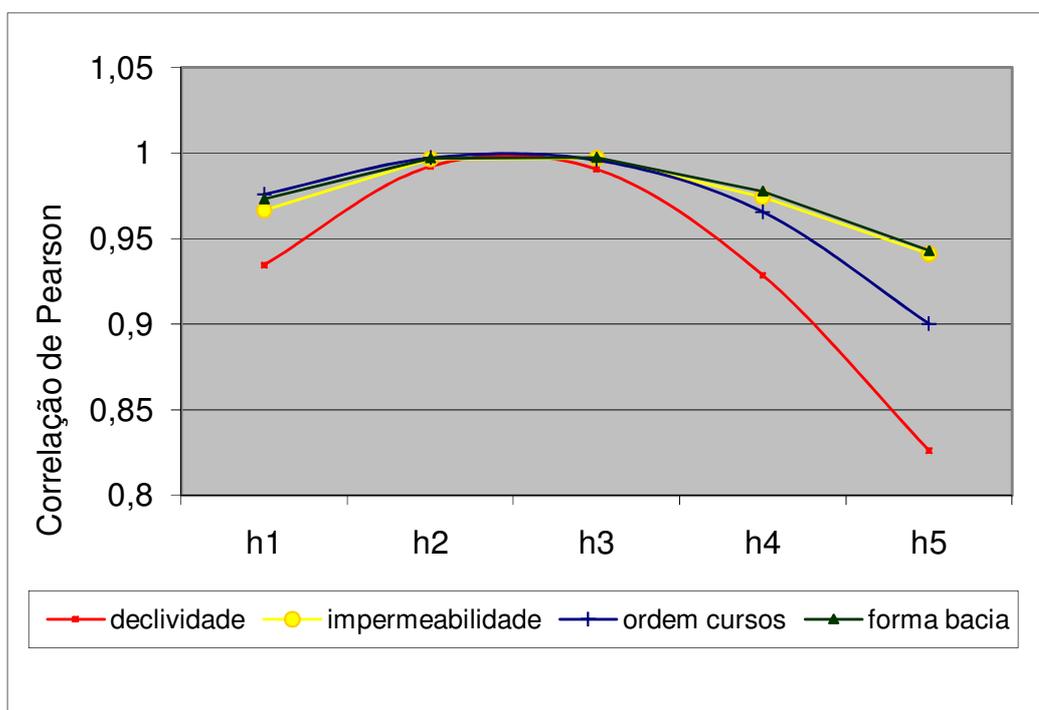


Gráfico 6.4 – Análise da sensibilidade do aspecto risco de inundação

Levando em consideração a importância das duas variáveis, a declividade influencia mais do que a ordem dos cursos de água, por apresentar uma área mais plana e uma declividade de 0 a 2%, embora as duas variáveis ajam concomitantemente. Desta forma, considera-se importante que a variável declividade receba valor 0,4 e a ordem dos cursos de água 0,3, gerando novamente o mapa para verificar a fragilidade deste aspecto, tornando mais representativas as áreas de risco de inundação.

6.3.4.1 Fragilidade do risco de inundação após análise de sensibilidade

As áreas de maior fragilidade são encontradas no entorno dos cursos de água, principalmente do curso principal e na foz da bacia hidrográfica. A diferença entre os mapas

antes e após os ensaios de sensibilidade está na diminuição da fragilidade na bacia de contribuição B22 que foi a de maior fragilidade antes da análise de sensibilidade. Observa-se que, após os ensaios de sensibilidade, a espacialização das áreas de risco de inundação representou melhor a realidade a campo, tanto as áreas de maior, como de menor risco de inundação (Figura 6.16).

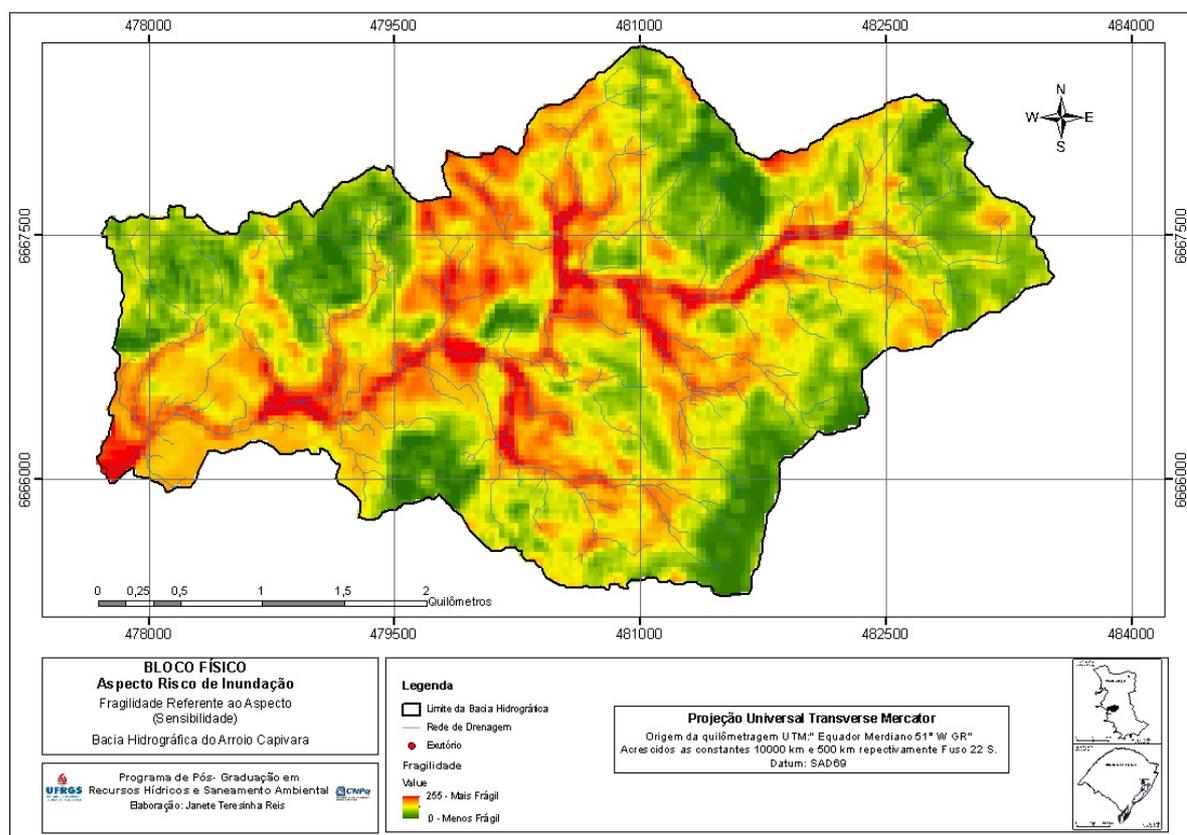


Figura 6.16 - Fragilidade do risco de inundação após ensaios de sensibilidade na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS

6.3.5 Síntese da sensibilidade do meio físico

As áreas de maior fragilidade ambiental continuam a margem direita da bacia hidrográfica, porém após ensaios de sensibilidade estas áreas também são encontradas na proximidade da foz demonstrando o aumento parcial das áreas de alta fragilidade. Por outro lado, as áreas de menor fragilidade ambiental também assumem destaque após ensaios de sensibilidade e se concentram no rebordo em áreas de declividade acentuada. Portanto, a área de destaque quanto a alta fragilidade ambiental ocorre a montante da bacia hidrográfica, mostrando que nesta área ocorre a maior fragilidade do meio físico, ao unir todos os aspectos (Figura 6.17).

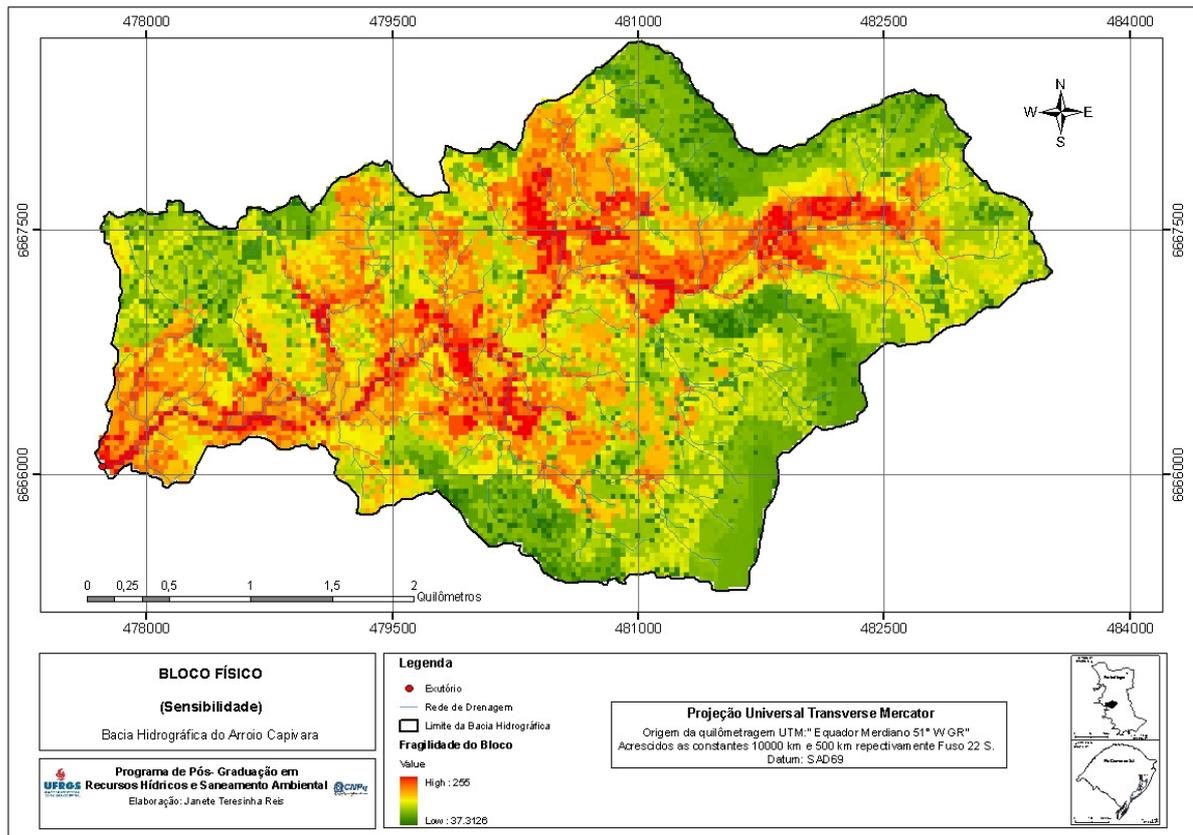


Figura 6.17 – Síntese do meio físico após ensaios de sensibilidade na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.

6.3.6 Blocos temáticos

As variáveis do meio físico e biótico não variam muito, logo os pesos que serão atribuídos são indiferentes, ou seja, estes podem receber qualquer valor que não varia muito o grau de fragilidade da área de estudo. Porém, o meio antrópico apresentou uma variação significativa, portanto, é o que mais influencia na fragilidade ambiental e apresenta as variáveis que mais interferem no ambiente. (Gráfico 6.5).

Sem a interferência da ação humana sobre o ambiente o nível de fragilidade natural se mantém em constante estabilidade, mas com a interferência humana inicia o processo de desmatamento e instabilidade do meio natural, podendo inclusive provocar desastres. Ao destruir a flora, afeta diretamente a fauna provocando alterações em todo o sistema.

A ação humana transforma o ambiente natural em construído, traz desequilíbrios ambientais, acarreta impactos ambientais nos ecossistemas. Estes impactos afetam diretamente os parâmetros básicos do meio físico (solos, geomorfologia, geologia, declividade, etc.), biótico (flora e fauna) com maior ou menor impacto dependendo da intensidade e do grau de intervenção sobre o meio. Por isso, o meio antrópico recebeu o valor 0,5 do total de 1.

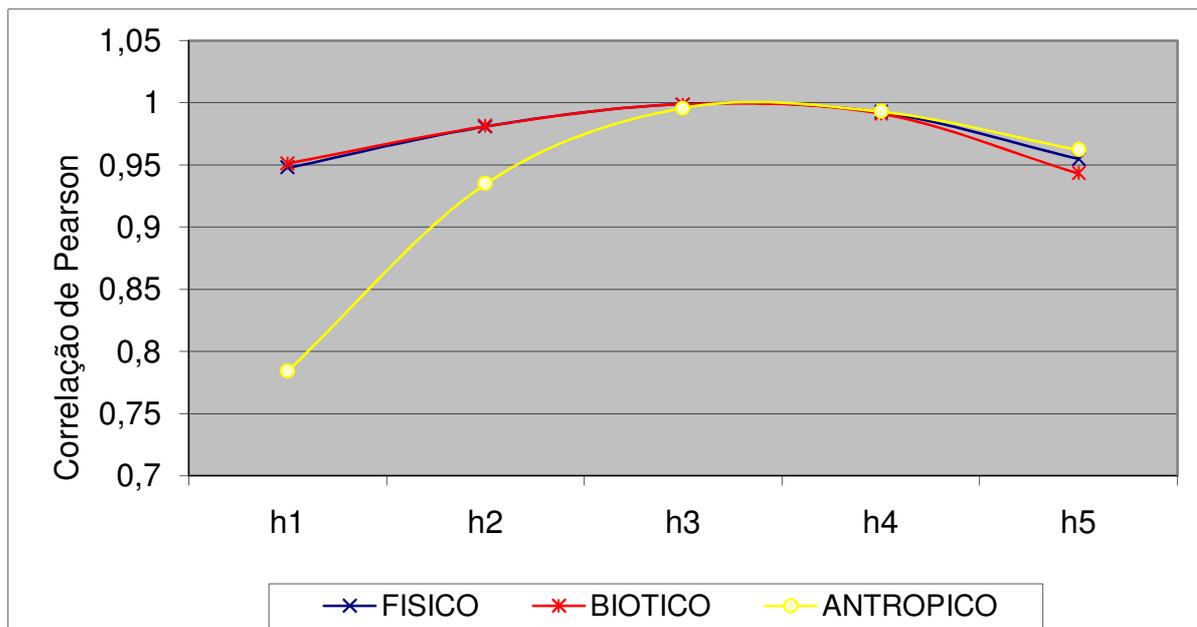


Gráfico 6.5 – Análise da sensibilidade dos blocos temáticos

No ambiente encontra-se uma rede interligada de relações e interdependências, onde os processos que atuam, dentro desse sistema, interagem e se completam de forma que, qualquer alteração em uma parte do sistema repercute no conjunto. A bacia hidrográfica, como tal, possibilita esta abordagem sistêmica da atuação dos impactos naturais e antrópicos.

A inter-relação dos meios físico, biótico e antrópico possibilitam um melhor entendimento dos fatores que interferem no conjunto da bacia hidrográfica do arroio Capivara modificando o sistema local. A bacia hidrográfica do arroio Capivara vem sofrendo modificações antropogênicas significativas geradas pelo uso inadequado do solo. Esta intervenção do homem no meio urbano produziu modificações sensíveis no ambiente e alterou a dinâmica da natureza. Para tanto, a proposta de determinar as áreas mais e menos frágeis consistem em direcionar a expansão urbana para áreas de menor fragilidade ambiental, tendo como foco maior estabilidade ambiental.

Os impactos da ocupação humana sobre áreas de alta fragilidade ambiental potencializam os efeitos negativos e refletem na qualidade do ambiente que o homem habita e dele depende, resultando em problemas ecológicos, sócio-econômicos, e inclusive ambientais graves. Estes impactos resultam em instabilidade e repercutem sobre o ambiente de forma negativa.

6.3.7 Cenários após ensaios de sensibilidade

Após os ensaios de sensibilidade dos aspectos do meio físico, o modelo foi processado novamente realizando a inter-relação dos três meios (blocos temáticos). Este objetiva averiguar as áreas de maior e menor fragilidade ambiental do modelo, comparando-o com o executado anteriormente. Para tanto, as áreas de menor e maior fragilidade diferem um pouco quanto a intensidade da fragilidade, mas se concentram praticamente nas mesmas áreas.

As áreas situadas a montante da bacia hidrográfica, junto a bacia de contribuição 1 (CP1) apresentam menor intensidade de fragilidade ambiental comparada com o modelo anterior (sem os ensaios de sensibilidade). A análise de sensibilidade permitiu maior discriminância, portanto, o meio antrópico passou a influenciar sobre as áreas de maior fragilidade, tornando os outros meios menos frágeis. Antes do ensaio de sensibilidade os três meios obtiveram o mesmo peso, neste o antrópico recebeu maior valor. Assim, os aspectos do meio antrópico se destacam por serem mais discriminantes e desempenharem maior influência sobre as áreas frágeis. Os valores atribuídos foram: Antrópico - 0,5 e os meios físico e biótico - 0,25, totalizando 1 (Figura 6.18).

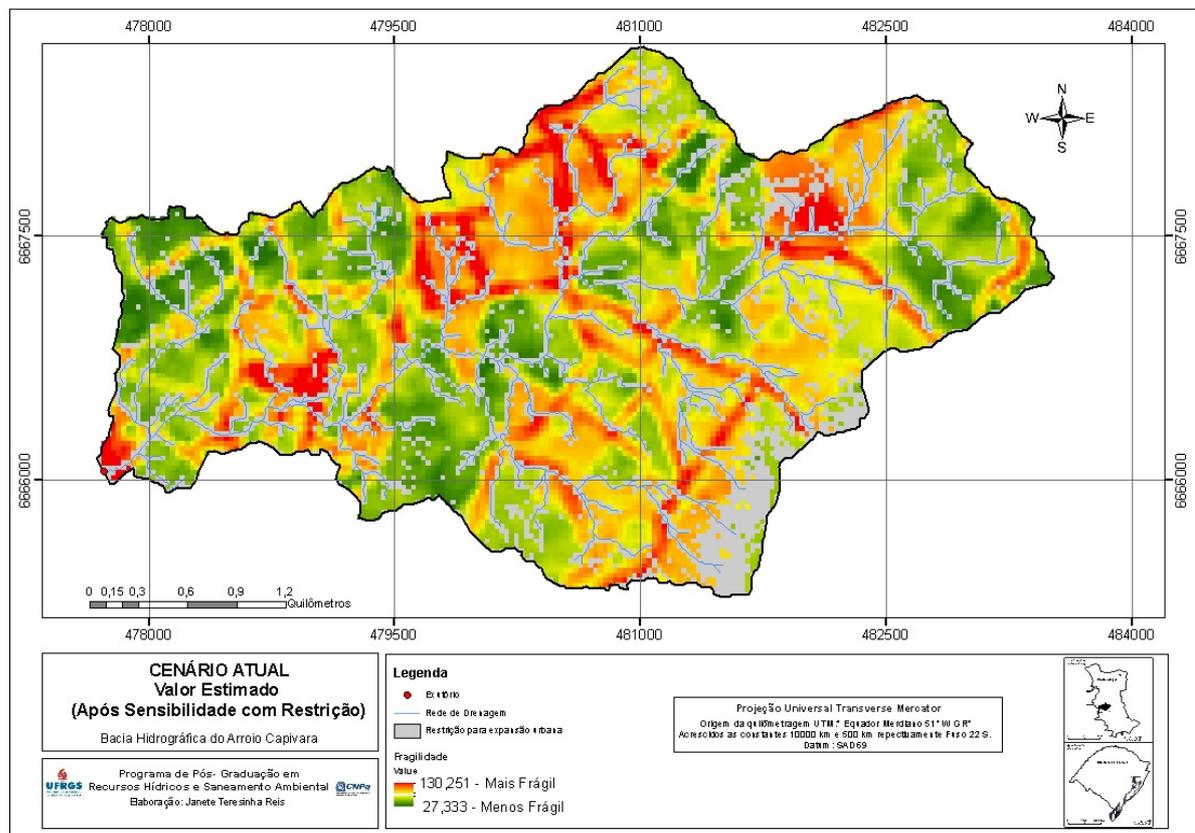


Figura 6.18 – Síntese da fragilidade ambiental do cenário atual com áreas de restrição após ensaios de sensibilidade na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS

O cenário conservativo ou ideal, também, foi processado após ensaios de sensibilidade. As áreas de maior fragilidade ambiental estão situadas nos mesmos locais indicados no cenário anterior. Do mesmo modo, a bacia de contribuição 1 (CP1) mantém a intensidade de fragilidade (Figura 6.19). As áreas de menor fragilidade (em verde), também, localizam-se nos mesmos locais, apontando as mais indicadas para futura ocupação urbana.

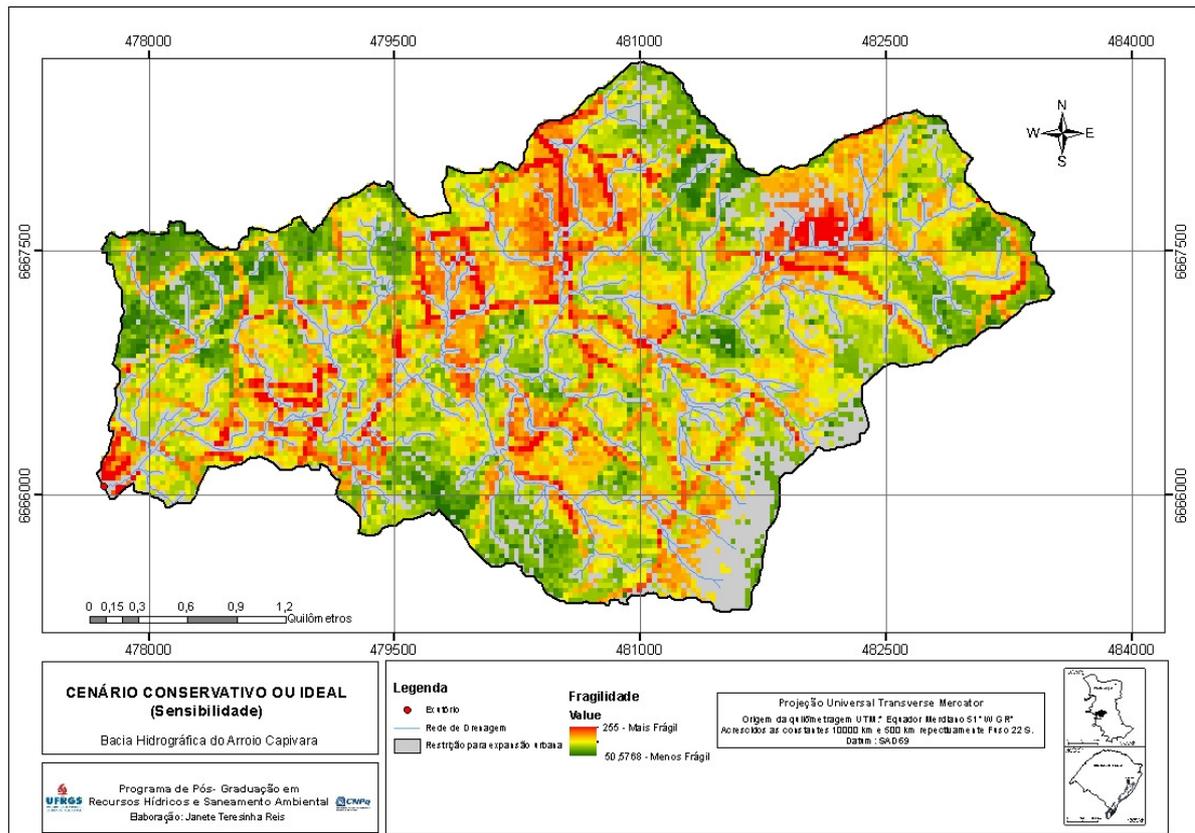


Figura 6.19 – Síntese da fragilidade ambiental do cenário conservativo ou ideal pós-sensibilidade na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS

6.4 Análise de consistência

O ambiente urbano é o resultado das ações da sociedade sobre os sistemas físicos naturais, ou seja, sobre o sítio natural. A partir destas relações, processos morfogenéticos são intensificados, podendo acarretar alterações significativas sobre a drenagem urbana, alterando sua dinâmica natural e provocando sérios danos sobre o ambiente. O mapeamento da fragilidade do ambiente constitui-se em uma importante ferramenta, que auxilia no ordenamento do meio, assim como na análise de consistência, que permite avaliar o grau de incerteza das variáveis, permitindo a indicação de áreas menos frágeis à ocupação urbana.

A partir do mapeamento da fragilidade quanto à contaminação das águas superficiais, tanto dos dados estimados, como dos medidos a campo, teve-se a possibilidade de comparar e validar as variáveis resultantes por bacia de contribuição. Com este propósito, foram levadas em consideração as cargas orgânicas remanescentes da população e o carbono orgânico dissolvido (medido), que interferem diretamente na qualidade da água, e sem o devido tratamento, podem causar sérios danos ao sistema aquático.

Assim, as bacias de contribuição foram hierarquizadas atendendo ao grau de fragilidade da soma dos pixels. Os valores das fragilidades foram atribuídos atendendo ao critério único: quanto maior a carga orgânica remanescente da população por bacia de contribuição maior a fragilidade ambiental, esta mesma lógica foi usada para o carbono orgânico dissolvido (Tabela 6.1).

Tabela 6.1 - Fragilidades atribuídas à carga orgânica remanescente da população e carbono orgânico dissolvido por bacia de contribuição no arroio Capivara, Porto Alegre - RS

Bacia de contribuição	Fragilidades atribuídas à carga orgânica remanescente da população	Fragilidades atribuídas ao Carbono orgânico dissolvido
AF 1	0	50
AF 2	35	35
CP 1	15	0
CP 2	50	15
CP 3	81	81
CP 4	174	174
CP 5	255	255

Na análise das fragilidades por bacias de contribuição, foram utilizados dados medidos e estimados em sete bacias de contribuição. Como resultado estimado, a menor fragilidade ambiental encontra-se na bacia de contribuição do afluente 1 (AF1) (Figura 6.20).

Em contrapartida, para os valores medidos a campo a menor fragilidade ambiental com relação ao carbono orgânico dissolvido encontra-se na bacia de contribuição 1 (CP1). A diferença nas fragilidades, entre os dados medidos e estimados, encontra-se a montante da bacia hidrográfica. Observa-se que, coincidem as fragilidades ambientais das bacias de contribuição, AF2 (Afluente2), CP3 (Capivara 3), CP4 (Capivara 4) e CP5 (Capivara 5), dos dados estimados e medidos a campo, onde a maior fragilidade ambiental encontra-se na bacia de contribuição CP5, ou seja, próximo a foz (Figuras 6.20 e 6.21). Levando em consideração a análise de consistência, grande parte dos valores estimados coincide com os valores medidos a campo, conferindo aos dados estimados um padrão de confiabilidade aceitável.

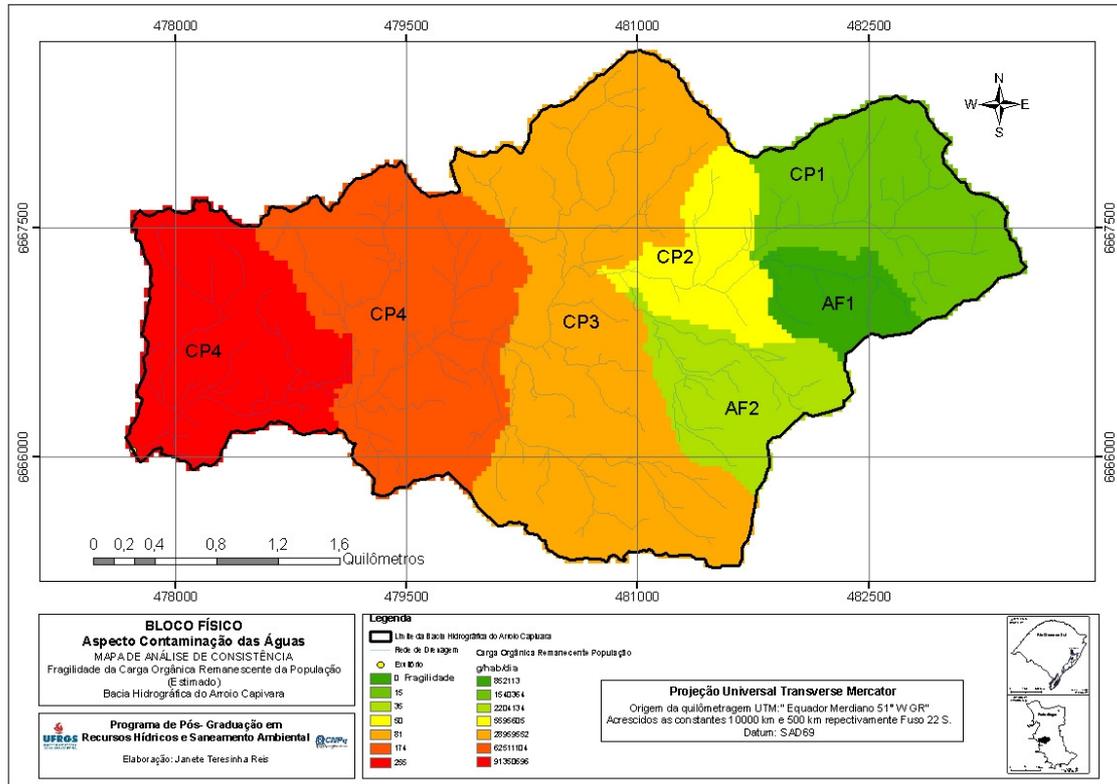


Figura 6.20 – Fragilidade ambiental dos dados estimados na Bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre - RS.

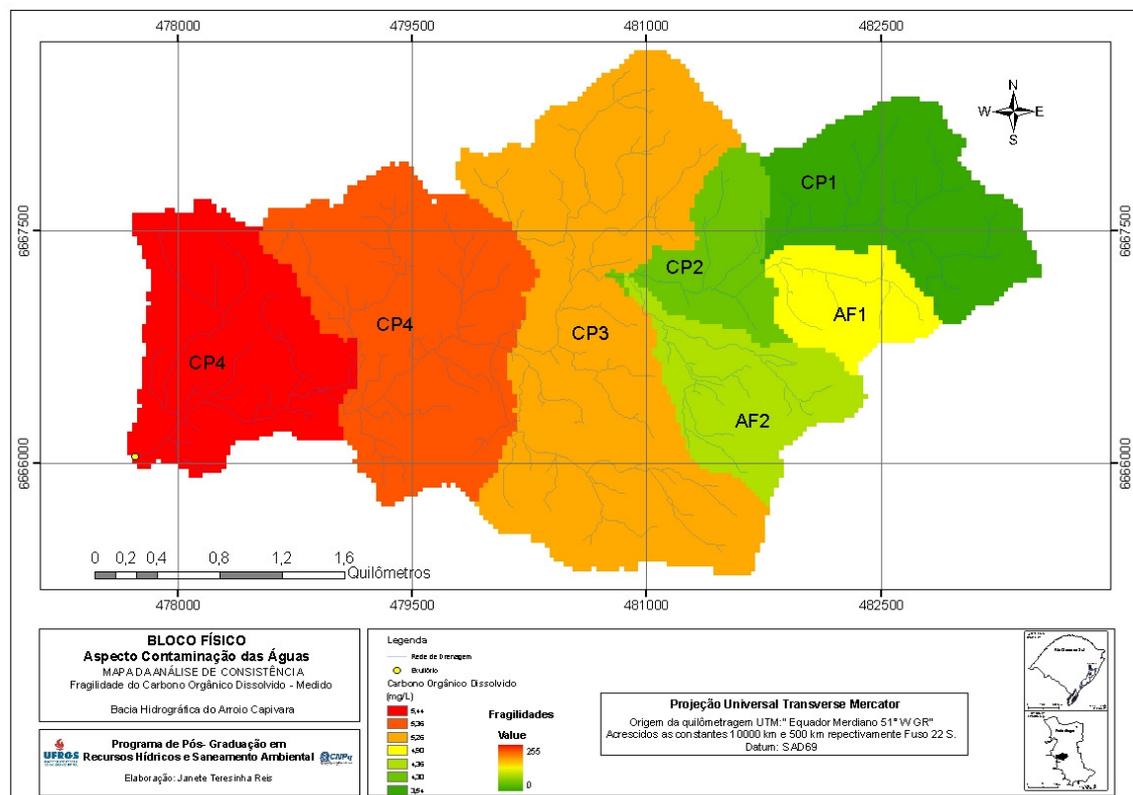


Figura 6.21 – Fragilidade ambiental dos dados medidos a campo na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.

As bacias de contribuição a montante da área de estudo, quanto aos dados estimados e medidos a campo, apresentaram variação da fragilidade referente ao aspecto contaminação das águas superficiais. Este fato se deve, em grande parte, pelo pequeno índice de urbanização a montante da bacia hidrográfica, uma vez que a carga orgânica remanescente é estimada a partir do índice populacional que habita a bacia de contribuição. Pode-se observar que, nas bacias de contribuição em que se confirmou o grau de incerteza, ou seja, as três bacias de contribuição de montante apresentaram a menor taxa de urbanização.

Muitos autores estimam os dados para determinar a contaminação das águas superficiais. No presente trabalho, além de estimar os resultados oriundos do IBGE (2000) trás um enfoque de avaliação da sua acuracidade confrontando os dados estimados com os “medidos a campo”, por Marques e Silveira (2009), contribuindo com a pesquisa e o conhecimento científico.

De modo geral, as bacias de contribuição apresentaram alterações pouco significativas, alterando o grau de fragilidade entre bacias de contribuição vizinhas. Considerando que a carga orgânica remanescente leva em consideração a população que habita determinada bacia de contribuição, as três bacias de contribuição a montante apresentaram menor taxa de urbanização. Para tanto, em áreas de baixa urbanização ou praticamente a inexistência de urbanização, convém realizar a coleta a campo, e partir para os dados medidos, os quais apresentam maior confiabilidade.

A correlação de Spearman apresentou o grau de certeza em aproximadamente 60%, caracterizando-se significativo, considerando que anteriormente o grau de certeza era zero. Isto significa que a análise de consistência confirmou que cerca de 60% dos dados estimados coincidem com os dados medidos a campo, apresentando um resultado bom, reduzindo o grau de incerteza do modelo. Para tanto, a probabilidade baseada na permutação reduziu o grau de incerteza e resultou em 0,0456 e como correlação de Spearman 56,25% reconhecendo que a maior parte dos dados do modelo apresentam-se confiáveis. Considerando as bacias de contribuição, a partir dos dados estimados e medidos, as fragilidades da 3º, 5º, 6º e 7º hierarquia confirmam o grau de certeza entre as variáveis (Tabela 6.2).

Para tanto, em áreas de baixa urbanização ou naquelas em que praticamente inexistente urbanização, os dados medidos a campo apresentaram maior fragilidade ambiental, tendo em vista que o índice populacional reduziu o grau de certeza dos dados estimados. Quanto menor a densidade populacional, menor a carga orgânica remanescente estimada.

Tabela 6.2 – Hierarquias (postos) de fragilidades das bacias de contribuição da bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS

Hierarquia	Carga orgânica rem. população (estimado)	Carbono orgânico dissolvido (medido)	Bacias contribuição
1°	2	1	CP1
2°	1	4	AF1
3°	3	3	AF2
4°	4	2	CP2
5°	5	5	CP3
6°	6	6	CP4
7°	7	7	CP5

Correlação por Postos de Spearman: 0,5625; probabilidade: 0,0456.

Caso existam outras fontes de contaminação, como por exemplo, depósitos clandestinos de lixo ou transporte de poluentes através dos fluxos subterrâneos, existirão cargas que não apresentam correlação direta com a densidade de ocupação urbana, aumentando o grau de incerteza. Desse modo, os parâmetros de água medidos apresentam maior confiabilidade, garantindo que os dados medidos a campo não podem ser substituídos por dados estimados para sua veracidade, somente em caso de impossibilidade de realizar trabalhos de campo, o que pode ser a realidade de uma grande maioria dos municípios brasileiros.

A grande problemática consiste na ocupação das áreas de maior fragilidade ambiental. Para tanto, o estudo remete sua preocupação com a drenagem urbana e a população que habita o meio urbano, principalmente os das áreas mais frágeis. Além de dar suporte aos órgãos municipais no planejamento urbano e auxiliar na determinação da veracidade e da confiabilidade dos dados, que muitas vezes são usadas em licenças e projetos ambientais.

Portanto, comprova-se que os dados estimados não apresentam confiabilidade total e que para estudos de cunho social, habitacional e ambiental, os dados medidos apresentam maior grau de certeza. No entanto, em situações de carência de dados e recursos, os dados estimados podem ser utilizados para subsidiar decisões nas fases iniciais de planejamento, pois reduzem a quantidade de incerteza nestas situações.

A figura 6.22 apresenta a fragilidade ambiental medida a partir da DQO, levando em consideração os valores apresentados em cada bacia de contribuição. A demanda química de oxigênio (DQO) é um parâmetro químico utilizado para caracterizar a qualidade da água e estima os níveis totais de materiais oxidáveis, ou seja, todas aquelas substâncias que potencialmente são consumidoras de oxigênio. Para determinar sua fragilidade adotou-se o seguinte raciocínio: quanto maior o valor da DQO por bacia de contribuição maior a fragilidade a ela atribuída.

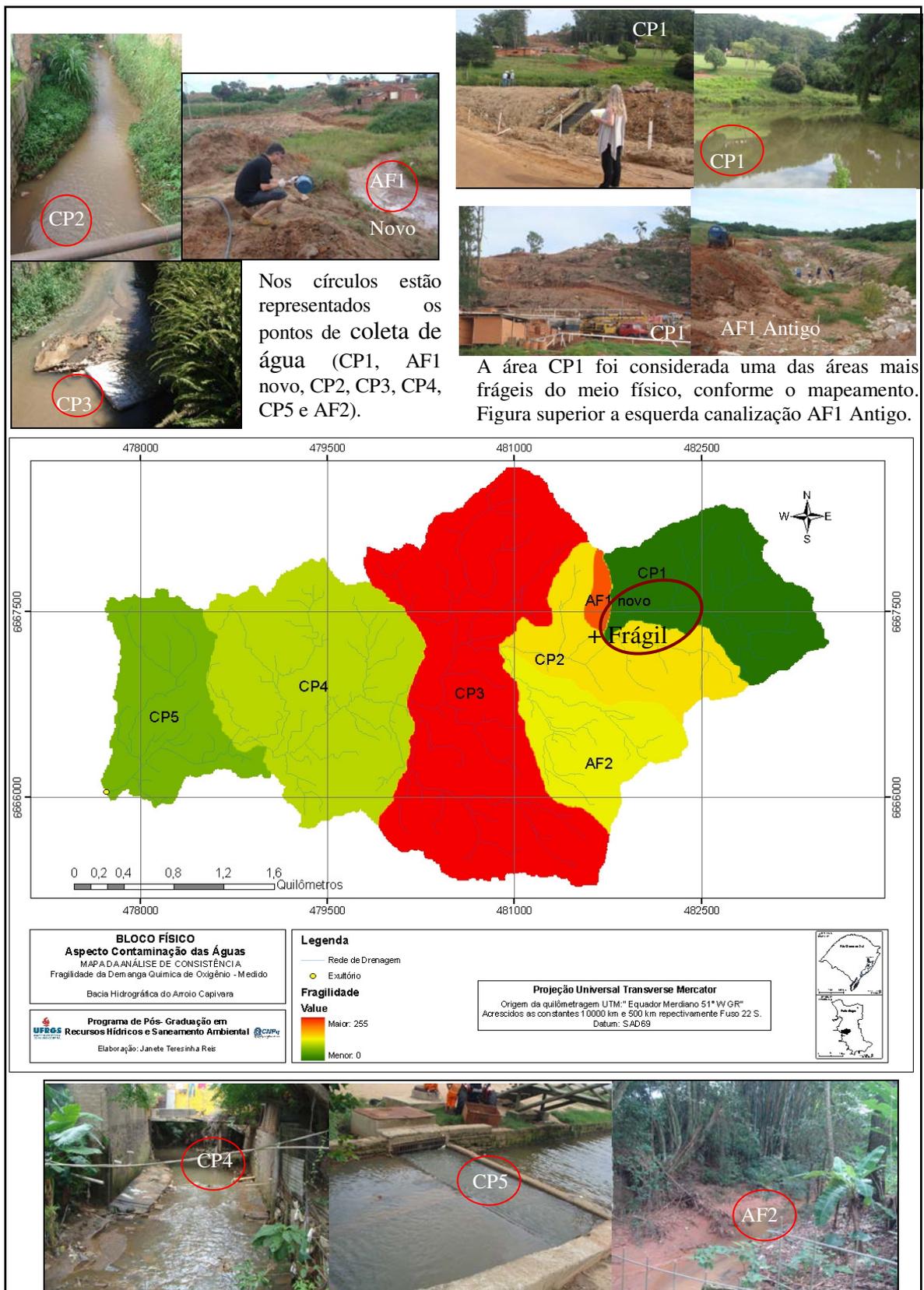


Figura 6.22 – Fragilidade ambiental de DQO e pontos de coleta de água na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto Alegre – RS.

Entende-se por fragilidade, nesta variável, a tendência d'água ser alterada do seu estado original, seja naturalmente ou em decorrência de fatores artificiais, como a interferência antrópica. Tricart (1977) a partir dos conceitos das unidades ecodinâmicas classificou os ambientes em naturais e antropizados. Denominou como fragilidade potencial, as áreas sem atuação antrópica e fragilidade emergente onde a ação antrópica se faz presente.

Partindo desta concepção, a bacia de contribuição CP1 foi a que recebeu menos intervenção antrópica e apresenta a menor fragilidade ambiental. Portanto, em termos de qualidade da água é a que mais se origina do estado natural. Este fato se deve grande parte, pela presença de vegetação a montante do ponto de coleta.

A área mais frágil encontra-se na bacia de contribuição CP3. Esta apresenta o maior valor da DQO e seu estado natural fortemente alterado. Parte se deve ao despejo "in natura" do esgoto cloacal e doméstico direto no Arroio. Percebe-se, portanto, uma forte interferência antrópica, neste setor, da bacia hidrográfica.

Outra bacia de contribuição com forte interferência antrópica é a AF1. Neste setor da bacia hidrográfica a paisagem anteriormente constituída de vegetação, se tornará um espaço construído. Cabe destacar que esta é uma das áreas indicadas como a mais frágil do meio físico e da inter-relação dos três blocos temáticos analisados neste trabalho. Portanto, engloba a área mais frágil, do ponto de coleta em direção a montante da bacia de contribuição CP1 e a AF1 novo, conforme figura 6.22.

O afluente AF1, o qual era ponto de coleta de água, anteriormente foi extinto para dar espaço ao empreendimento. Desta forma, o mesmo foi substituído e para termos de comparação as bacias de contribuição AF1 e CP2 não podem ser computadas, pois invalidam a procedência efetuada anteriormente.

Comparando os dados medidos DQO e COD constatou-se que a área menos frágil em ambas, localiza-se na bacia de contribuição CP1, enquanto que nos dados estimados IBGE (2000) esta se situa no AF1 antigo. Por outro lado, a área mais frágil, que anteriormente a esta análise era a CP5, passou a ser a CP3. Este fato se deve à presença de esgoto lançado diretamente no Arroio.

Estes parâmetros demonstraram que a qualidade da água de menor nível de alteração é a CP1. Portanto, confirmou que em áreas de baixa urbanização ou praticamente a inexistência de urbanização, convém realizar coleta e análise de água para determinar sua qualidade, embora a demonstração da confiabilidade seja em torno de 60%, entre dados estimados e medidos.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 Conclusões

A presente tese objetivou subsidiar um processo de avaliação ambiental integrada, através da análise de fragilidades ambientais, para uma bacia hidrográfica urbana, com o intuito de assessorar o processo de tomada de decisões quanto à expansão urbana e licenciamento ambiental, em situação de carência de dados. A análise integrada permitiu definir as áreas mais frágeis dos meios físico, biótico e antrópico, as quais necessitam de recuperação ambiental e as menos frágeis ambientalmente para direcionar a ocupação urbana futura.

O mapeamento do uso e ocupação do solo mostra uma ocupação diferenciada da paisagem. Ocorre, portanto, uma heterogeneidade na bacia hidrográfica do arroio Capivara, de um lado áreas com forte intervenção antrópica, e por outro, áreas onde a paisagem natural continua preservada. Porém, a vegetação está diminuindo gradativamente dando espaço a ocupação de casas residenciais. Esta heterogeneidade determina diferentes níveis de qualidade no ambiente, daí a importância do estudo do planejamento integrado na bacia hidrográfica.

A maior ocupação das margens do arroio de forma inadequada ocorre do centro em direção a foz, nas bacias de contribuição CP4 e CP5. Esta concentração urbana está provocando alterações significativas na qualidade da água.

A área mais frágil quanto à impermeabilização do solo está situada nas proximidades da foz, o que favorece o aumento da quantidade e velocidade do escoamento superficial, permitindo eventuais alagamentos nesta área.

A preservação por cobertura vegetal está concentrada na montante da bacia hidrográfica, favorecendo a morfologia, a qualidade da água, a biota aquática, tornando a bacia de contribuição CP1 a menos frágil quanto à análise de água de COD e DQO. Num contraponto, nas proximidades da foz a eliminação da mata ciliar está trazendo consequências que contribuem no assoreamento do leito principal, na diminuição da fauna aquática e terrestre, acelerando o escoamento superficial, etc.

A ocupação das APPs pelo ser humano persiste da metade em direção a foz da bacia hidrográfica fixando suas moradias no entorno dos cursos de água e em declives iguais ou superiores a 30%, embora o recomendado pelo IPT para construção de moradias seja o limite de 15% e pelo Plano Diretor de 30%.

O aspecto estabilidade de encosta foi construído como um indicador dos possíveis impactos relativos às áreas sujeitas à instabilidade, e assim, orientar o planejamento quanto às áreas menos frágeis e evitar ocupações das áreas de alta fragilidade. Para tanto, a maior fragilidade quanto a estabilidade de encosta localiza-se na proximidade do curso de água principal e declives acentuados do centro em direção a montante da bacia hidrográfica.

O aspecto risco de inundação foi proposto como indicador dos locais mais susceptíveis a ocorrência de extravasamento da água do seu leito normal. A ocorrência de cheias e inclusive inundação está provocando danos à população ribeirinha da bacia hidrográfica, parte se deve a retirada da área verde para a construção do empreendimento a montante da bacia, facilitando o carreamento do solo provocando o assoreamento e extravasamento da água do leito principal.

O aspecto fragilidade à erosão foi construído como um indicador dos possíveis impactos relativos aos transportes de sedimentos dos solos aos leitos dos rios e as áreas menos sujeitas a ação erosiva para possível ocupação urbana futura. Para tanto, em aproximadamente 20% da área de estudo ocorrem processos de alta fragilidade erosiva. Nas demais áreas, observam-se áreas frágeis com presença de erosão, mas em menor intensidade.

A agricultura urbana ocorre em aproximadamente 9% da área de estudo. Este fato traz um contraste, além de minimizar os efeitos adversos da compactação do solo urbano transforma a paisagem local. Por outro lado, a aplicação de produtos químicos na lavoura está presente. A porção central da bacia hidrográfica mostra alta fragilidade em relação à contaminação das águas. Este potencial de contaminação pode ser atribuído a carga orgânica remanescente da população e ao uso do solo para fins agrícolas por culturas sazonais.

Os dados estimados não apresentaram confiabilidade total e para estudos de cunho social, habitacional e ambiental os dados medidos apresenta maior grau de certeza. A grande contribuição dos modelos de fragilidade ambiental é proporcionar uma maior agilidade no processo de tomada de decisões, servindo de subsídio para a gestão territorial de maneira planejada e sustentável, evitando problemas de ocupação desordenada.

A grande problemática da área de estudo está na ocupação das áreas de maior fragilidade ambiental, aumentando os riscos da população que habita o meio urbano. Pois, a ocupação irregular do espaço urbano caracteriza um risco a população e vem acompanhado de

sérios problemas socioeconômicos que intensificam os problemas ambientais. Por sua vez, os principais problemas do meio urbano estão vinculados à ocupação de áreas irregulares, inclusive áreas de alta fragilidade ambiental, deficiências na infra-estrutura e no saneamento básico.

A análise integrada da fragilidade ambiental deve anteceder o planejamento urbano, indicando áreas de menor fragilidade ambiental a serem ocupadas. Estudos desta natureza tornam-se indispensável na estruturação e/ou (re)organização espacial urbana por integrarem os meios físico, biótico e antrópico, possibilitando uma avaliação conjunta e completa da área de estudo.

A extinção de espécies da fauna e flora é nitidamente notada na área de estudo. Os problemas ambientais são decorrentes das práticas predatórias provocando a diminuição da população de flora e fauna o que traz implicações a médio e longo prazo, provocando desperdício dos recursos naturais e a degradação da qualidade ambiental. Assim torna-se mais urgente o planejamento integrado.

Nos ensaios de sensibilidade entre os blocos temáticos, o meio antrópico apresentou maior discriminância e, portanto foi o que mais influenciou na determinação das áreas de fragilidade ambiental. Por esse viés, a interferência da ação humana sobre o ambiente pode causar instabilidade a si próprio e aos meios, físico e biótico. Assim como é causador, também sofre os impactos ao usufruir as áreas de alta fragilidade ambiental.

A análise de sensibilidade dos aspectos temáticos com mais de três variáveis apresentaram espacialmente resultados mais satisfatórios do que os do modelo anterior sem os ensaios, uma vez que as áreas mais frágeis foram mais plausíveis com a realidade a campo. No entanto, à atribuição de “pesos” inicialmente iguais (para as variáveis) mostraram-se eficientes, mas com a atribuição de pesos maiores para as variáveis mais sensíveis, teve-se o ajuste das variáveis espacialmente. Assim, após os ensaios de sensibilidade a variável de maior discriminância por aspecto recebeu maior peso e resultou na alteração do grau de fragilidade ambiental apresentando-se mais satisfatório.

A análise de consistência entre as bacias de contribuição mostrou que a área de menor fragilidade ambiental para ocupação urbana é a bacia de contribuição AF1, seguida da CP1 para os dados medidos e CP1 e CP2 para dados estimados. Esta relação permite identificar o grau de incerteza entre variáveis estimadas e medidas, garantindo que os dados medidos a campo não podem ser substituídos por dados estimados para sua veracidade, somente em caso de impossibilidade de realizar trabalhos de campo.

A análise de consistência com base na correlação de Spearman confirmou o grau de certeza entre os dados medidos e estimados em aproximadamente 60%. Este percentual é bastante significativo uma vez que reduziu o grau de incerteza do processo de tomada de decisão.

Quanto aos objetivos, inicialmente, propostos conclui-se que:

- A análise integrada, embasada em fragilidade ambiental, pode ser aplicada em pequenas bacias urbanas através de adaptações no modelo conceitual e nas variáveis indicadoras.
- As fragilidades dos meios físico, biótico e antrópico foram obtidas e sua consistência foi verificada através da análise qualitativa (observação *in loco*) e quantitativa quanto à hierarquização de sub-bacias para a qualidade da água.
- O modelo de fragilidades aplicado resultou em redução de incertezas para apontar as áreas de menor fragilidade na bacia do arroio Capivara para a expansão urbana;
- O resultado da modelagem pode ser utilizado pelo órgão licenciador, bem como pelas instituições responsáveis pelo planejamento urbano, para subsidiar a elaboração de diretrizes ambientais para a expansão urbana;
- A análise integrada, embasada em fragilidades ambientais, pode ser aplicada em bacias urbanas que apresentam carência de dados, permitindo uma significativa redução de incertezas no processo de tomada de decisões referentes à expansão urbana e licenciamento ambiental.

Este modelo de fragilidade ambiental apresentou-se satisfatório, mas vale ressaltar que os ensaios de sensibilidade são essenciais uma vez que resultaram espacialmente em dados mais próximos da realidade de campo, embora as áreas frágeis do meio físico, biótico e antrópico foram confirmadas em 100% da área de estudo, sem os ensaios de sensibilidade. Para tanto é imprescindível a comparação do modelo com a realidade de campo.

O aporte teórico e o embasamento metodológico foram essenciais para a obtenção e geração de informações que auxiliaram na caracterização, análise, discussão e consistência dos dados.

A abordagem metodológica foi coerente possibilitando a aprovação da hipótese lançada na introdução. Assim, a hipótese embasada na análise integrada de fragilidades ambientais

resultou na redução de incerteza nos processos de tomada de decisão referente à expansão urbana e ao licenciamento ambiental.

Portanto, a proposta lançada permitiu o alcance das pretensões, dos objetivos, possibilitando avanços e auxílio a estudos futuros nas bacias hidrográficas urbanas. Estes são caminhos a serem percorridos, que possibilitam minimizar os impactos negativos no meio urbano. Para tanto, os órgãos públicos devem oficializar trabalhos desta natureza, fiscalizar as áreas de alta fragilidade, atendendo aos critérios propostos, além de seguir as normas da legislação federal e dos planos diretores.

7.2 Recomendações

Tendo em vista o estudo da inter-relação dos meios físico, biótico e antrópico em bacia hidrográfica urbana, recomendam-se:

- ▶ Estudos de fragilidade ambiental de forma integrada devem ser elaborados pelos órgãos públicos, para subsidiar a definição de diretrizes para o licenciamento de empreendimentos em áreas de acordo com sua fragilidade;

- ▶ Trabalhos de campo devem ser realizados para comprovar a veracidade dos relatórios apresentados;

- ▶ Áreas de alta fragilidade ambiental não devem ser alvos de construções e empreendimentos;

- ▶ A preservação das áreas de alta fragilidade ambiental é imprescindível para evitar futuras áreas de risco;

- ▶ Áreas de baixa fragilidade ambiental podem ser indicadas para futuras ocupações urbanas, mas com acompanhamento de estudo locais;

- ▶ A realocação das famílias das áreas ribeirinhas do arroio Capivara para outra área de baixa fragilidade ambiental indicada neste estudo deve ser considerada;

- ▶ A construção do empreendimento “ALPHAVILLE RESERVA” a montante da bacia hidrográfica do Arroio Capivara deve ser reavaliada e até paralisada para fins de adequação, porque está comprometendo o leito principal do arroio e seus afluentes e favorecendo o assoreamento, intensificando a inundação de áreas ribeirinhas;

- ▶ O empreendimento “ALPHAVILLE RESERVA” está sendo construído em área de alta fragilidade ambiental, portanto, observou-se em campo a destruição da flora, canalização e destruição de afluente, estreitamento e canalização do curso de água principal;

▶ A conservação dos recursos naturais, incluindo o solo, a água, a fauna e a flora desta área de alta fragilidade ambiental, deve ser incluída no processo de tomada de decisão referente ao licenciamento dos empreendimentos propostos para a área;

▶ Formar equipes de apoio e conscientizar a população ribeirinha da importância da conservação ambiental e prepará-los para futura realocação para a melhoria do bem-estar e da qualidade de vida;

▶ Orientar o uso e ocupação do solo para áreas menos frágeis, tendo como meta a máxima conservação do espaço urbano;

▶ Recuperar as áreas de conflito com reposição de mata ciliar e vegetação em declividades iguais ou superiores a 30% após a realocação das famílias;

▶ Estudos mais específicos da fauna e flora fazem-se necessário em virtude da quantidade de espécies extintas localmente e para a preservação das espécies que ainda restam;

▶ Planejar e organizar os próximos usos de forma que as funções naturais não sejam prejudicadas, investindo em saneamento básico, principalmente em sistemas de coleta de esgotos tipo separador absoluto, contemplando 100% das moradias para manter a ausência das cargas de contaminantes nos cursos de água e investir em agricultura urbana ecológica para evitar que os poluentes atinjam os recursos hídricos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648**: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário: Procedimento. Rio de Janeiro, 1986.

ALLAN, J. D. **Landscapes and riverscapes: The Influence of Land Use on Stream Ecosystems**. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, v. 35, 2004.

ALLAN, J. D.; ERICKSON, D. L.; FAY, E J. **The Influence of Catchment Land Use on Stream Integrity Across Multiple Spatial Scales**. *Freshwater Biology*, v. 37, 1997.

ALMEIDA, J. R.; BASTOS, A. C. S. **Licenciamento ambiental brasileiro no contexto da avaliação de impactos ambientais**. In: CUNHA, S. B. e GUERRA, A. J. T. (Org.). **AVALIAÇÃO E PERÍCIA AMBIENTAL – 8^a ed.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

ALMEIDA, A.T.; COSTA, A. P. C. S. **Aplicações com métodos multicritério de apoio à decisão**. Recife: Universitária, 2003.

ALMEIDA, J. R.; TERTULIANO, M. F. **Diagnose dos Sistemas Ambientais: métodos e indicadores**. In: CUNHA, S. P. da e GUERRA, A. J. T. (Org.) **Avaliação e perícia ambiental**. 2. ed. Rio de Janeiro: Betrand Brasil, 2000.

AZAR, C., HOLMBERG, J.; LINDGREN, C. **Methodological and ideological options socioecological indicators for sustainability**. *Ecological Economics*, v. 18, 1996.

BARRIUSO, E. *et al.* **Les pesticides et les polluants organiques des sols: transformations et dissipation**. *Étude et Gestion des Sols*, Ardon, v.3, n.4, p.279-296, 1996.

BERTRAND, G. A. Paisagem e Geografia Física Global. Esboco metodológico. **Caderno de ciência da terra**, São Paulo, n.13, 1977.

BEZERRA, M. do C.; FERNANDES, M. A. **Cidades sustentáveis: subsídios à elaboração da Agenda 21 brasileira**. (coordenadores). – Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Consórcio Parceria 21 IBAM-ISER-REDEH, 2000.

BLANDIN, P.; MOLLON, A.; NATAF, L. **Bioindicateurs et diagnostic des systems ecologiques**. *Bulletin. of Ecology*, v. 17, 1986.

BOLLMANN, H. A. **Relação da densidade populacional sobre as variáveis de qualidade físico-químico das águas superficiais em microbacias hidrográficas urbanas sem cobertura sanitária em Porto Alegre – RS**. 2003. 145f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

BOLLMANN, H.; MOTTA MARQUES, D. da. Bases para a Estruturação de Indicadores da Qualidade da Água. Separata de: Revista Brasileira de Recursos Hídricos - RBRH, v. 5, n.1, 2000. p. 37-60,

BOOTH, D. B. *et al.* Reviving urban streams: land use, hydrology, biology, and human behavior. **Journal of The American Water Resources Association**. v. 5, 2001. p. 1351-1364

BOOTH, D. B.; JACKSON C. R. **Urbanization of Aquatic Systems — Degradation Thresholds, Stormwater Detention, and the Limits of Mitigation**. *Water Resources Bulletin*, v. 33, 1997.

BORJA, P. C.; MORAES, L. R. S. **Indicadores de saúde ambiental com enfoque para a área de saneamento**. Parte 1 — aspectos conceituais e metodológicos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 8, 2002a.

BORTOLUZZI, E. C. **Caracterização quali-quantitativa de sedimento fluvial oriundo da microbacia hidrográfica fumageira de Agudo, Rio Grande do Sul-Brasil**. Brasília: Bortoluzzi, E.C., 2004. 75p. Relatório Técnico CNPq.

BRASIL. **Código Florestal Federal**. Lei nº 4.771 de 15 de setembro de 1965. Art 2º. Disponível em: <http://www.lei.adv.br/4771-65.htm>. Acesso 10 de Dezembro 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, Departamento de Economia Florestal. **Inventário Florestal Nacional: Florestas Nativas do Rio Grande do Sul**. Brasília: 1983.

CAMPANA, N.; TUCCI, C. E. M. **Estimativa de área impermeável de macrobacias urbanas**. Caderno de Recursos Hídricos. V12, nº2. 1994.

CAMPOS, N.; STUDART. **Gestão das Águas: princípios e práticas**. Porto Alegre: ABRH, 2003.

CHAGAS, C. da S. **Mapeamento digital de solos por correlação ambiental e redes neurais em uma bacia hidrográfica no domínio de mar de morros**. 223 f. Tese (Doutorado em solos e nutrição de plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

CNEC. **Estudos de Implantação do Pólo Petroquímico de Triunfo**. 1980.

COIMBRA, J. de Á. A. Linguagem e Percepção Ambiental. In: PHILIPPE JUNIOR, Arlindo; ROMERO, Marcelo de Andrade; BRUNA, Gilda Collet. **Curso de Gestão Ambiental**. SãoPaulo: Manole, 2004.

COMISSÃO MUNDIAL DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CMMAD). **Nosso futuro comum**. 2 ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, p.430,1991.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA 001, de 23 /01/1986**. Brasília: IBAMA, 1986.

CORIDOLA, R. *et al.* Diagnóstico das fontes potencialmente poluidoras no Município de Campos dos Goytacazes-RJ. In: Congresso Brasileiro de Cartografia (CBC), 2005, Macaé. **Anais...** CD-ROM.

COSTA, T. da; LANÇA, R. **Hidrologia de Superfície**. Disciplina de Hidráulica Aplicada - Núcleo De Hidráulica e Ambiente. Escola Superior de Tecnologia - Universidade do Algarve. Acesso em 08 de dez. 2010. Disponível em: <http://w3.ualg.pt/~rlanca/sebenta-hid-aplicada/ha-01-hidrologia.pdf>. 2001.

CREPANI, E. *et al.* **Curso de Sensoriamento Remoto aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico**. São José dos Campos- SP - INPE. 1996.

CRUZ, R. C. Planejamento do Solo Urbano: A Ecologia de Paisagem e a Gestão Ambiental Urbana Participativa. II Fórum - Os solos e as cidades In: **Solos & Ambiente**, Santa Maria: Orium, 2005.

CRUZ, R. C. *et al.* **Uma Análise Crítica dos Conceitos de Análise de Fragilidades Ambientais e de Avaliação Ambiental Integrada**. I CONGRESSO INTERNACIONAL DE GEOCIÊNCIAS NA CPLP. Universidade de Coimbra, 2012.

CUNHA, C.; FERREIRA, A. **Sustentabilidade ambiental da Água Consumida no Município do Rio de Janeiro, Brasil**. Rev. Panam Salud Publica, v.18. 2005.

CUNHA, M. A. (Coord.). **Ocupação de encostas: manual**. São Paulo: IPT, 1991 (Publicação IPT). 1991.

DALE, V. H.; BEYELER, S. C. **Challenges in the development and use of ecological indicators**. *Ecological Indicators*, v. 1, 2001.

DE LIMA, Elaine de Cacia. **Qualidade Multitemporal da Paisagem: estudo de caso na Floresta Ombrófila Mista em General Carneiro – PR**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Dissertação. 2003.

DIAS, G. F. **Pegada ecológica e sustentabilidade Humana**. São Paulo: Gaia, 2002.

DIAS, T. S.; FUJIMOTO, N. S. V. M. **Compartimentos de Relevo do Município de Porto Alegre, capital do Estado do Rio Grande do Sul – Brasil**. Porto Alegre: UFRGS. 2008.

DIETZ, M. E.; CLAUSEN, J. C.; FILCHAK, K. K. **Education and changes in residential nonpoint source pollution**. *Environmental Management*, v. 34, 2004.

DINICOLA, R. S. Characterization and simulation of rainfall-runoff relations for headwater basins in western King and Snohomish Counties. Washington: u.s. **Geological survey Water-Resources Investigations**. 1989.

DOLFFUS, O. **O Espaço Geográfico**. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil S/A. 1991.

DÖLL, P. E.; MEDIONDO, M.; FUHR, D. Desenvolvimento de cenários como uma ferramenta para o planejamento regional. In: Workshop SRH –WAVES (Water Availability, Vulnerability of Ecosystems and Society in the Northeast of Brazil), **Anais...**Fortaleza, 2000.

DOZENA, A. **São Carlos e seu "desenvolvimento"**: contradições urbanas de um pólo tecnológico. 160 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. Bertrand Brasil S.A. Rio de Janeiro. 1997.

DUNNING, J. S. **Aves Silvestres do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, 1993.

DUTRA, R. C. **Indicadores de Vulnerabilidade: no contexto da habitação precária em área de encosta sujeita a deslizamento**. 2011. 170f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2011.

EEA - EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. (2012) **Integrated environmental assessment**. Disponível em: http://glossary.eea.europa.eu/EEAGlossary/integrated_environmental_assessment. Acesso em: 16 de ago. 2012.

EFE, M. A.; MOHR, L. V.; BUGONI, L. **Guia Ilustrado das Aves dos Parques de Porto Alegre**. Porto Alegre: PROAVES/SMAM/COPELUL/CEMAVE, 2001.

ESCOBAR L. **Indicadores sintéticos de calidad ambiental: un modelo general para grandes zonas urbanas**. *Revista eure*. Santiago, v.32. n 96, ago, 2006.

FORNASARI FILHO, N. *et al.* Processos de Meio Físico como objeto de estudo da Geologia de Engenharia nos estudos de Impactos Ambientais. IN: VI Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Salvador, **Anais...** Salvador: ABGE. 1990.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. **Determinacion del Riesgo de Contaminacion de Águas Subterráneas – uma metodologia basada en datos existentes**. 2ª Edição. Peru: Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente / Organizacion Mundial de la Salud, 1991, 81p.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. **Determinação do risco de contaminação das águas subterráneas: um método baseado em dados existentes**. São Paulo: Instituto Geológico, 1993. 92 p.

FRANCO, A. C. **Ecophysiology of woody plants**. In: P. S. Oliveira e R. J. Marquis (Eds.). *The cerrados of Brazil: Ecology and natural history of a neotropical savanna* Columbia University Press, Irvington, USA. 2002.

FUJIMOTO, N. S. V. M. **Considerações Sobre o Ambiente Urbano: Um Estudo com Ênfase na Geomorfologia Urbana**. Revista do Departamento de Geografia, nº16. 2005.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL - FEPAM, **Diagnóstico ambiental da bacia do Taquari-Antas**. Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Fundação de Proteção ao Meio Ambiente, RS. 2001.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL - FEPAM. **Análise de fragilidades ambientais e da viabilidade de licenciamento de aproveitamentos hidrelétricos das bacias hidrográficas dos rios Ijuí e Butuí-Piratini-Icamaquã, Região Hidrográfica do Rio Uruguai** – RS. Porto Alegre: FEPAM/UFRGS, nº 5, (Cadernos de Planejamento e Gestão Ambiental) 2004.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL - FEPAM. **Análise de Fragilidades Ambientais da Bacia Hidrográfica dos rios Apuaê-Inhandava, situada na Região Hidrográfica do rio Uruguai.** Relatório Técnico Final. Santa Maria: FEPAM/UFSM, 2005.

GALLANT, J. C.; WILSON, J. P. **Primary topographic attributes.** In: WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. (Eds.). *Terrain Analysis: Principles and applications.* New York: John Wiley, 2000. p. 51-85.

GARCIA, C. M. **Indicadores de qualidade ambiental urbana.** Maia, N. M.; Martos, H. L.; Barrella, W. **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações.** Campinas: EdPUC, 2003. 285 p.

GARCIA, G. J. **Planejamento e gestão integrada de recursos em bacias hidrográficas.** Rio Claro-SP: IGCE/UNESP. Disponível em: http://ceapla2.rc.unesp.br/atlas/plang_introducao.php. Acesso em: 10 set. 2012.

GASTEYER, S.; FLORA, B. C. **Social indicators: an annotated bibliography on trends, sources and development.** US Environmental Protection Agency. 1999.

GHEZZI, A. O. **Avaliação e mapeamento da fragilidade ambiental da bacia do rio xaxim, Baía de Antonina – PR, com o auxílio de geoprocessamento.** Projeto de Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Curitiba – PR Set. 2003. Disponível em: http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/1884/1566/1/Alessandra+O_G_Dissert.pdf. Acesso em 18 jun. 2010.

GIASSOM, E.; INDA JR, A.V.; NASCIMENTO, P.C. **Relatorio final de consultoria para classificação taxonomica dos solos do estado do RioGrande do Sul segundo o sistema brasileiro de classificação de solos e avaliação da classe de resistência à impactos ambientais.** Porto Alegre: FEPAM, 2005. 11p.

GUAPYASSSÚ, M. S.; HARDT, L. P. A. **Avaliação de Fragilidade Ambiental: Uma Nova Abordagem Metodológica para Unidades de Conservação de Uso Indireto em Áreas Urbanas.** FLORESTA E AMBIENTE. Curitiba – PR e Rio de Janeiro. Vol. 5(1):55-67, jan./dez. 1998.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: Guerra, Baptista, S. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** Bertrand Brasil, 4 ed., Rio de Janeiro. 2001.

HALL, G. F.; OLSON, C. G. **Predicting variability of soils from landscape models.** In: MAUSBACH, M. J.; WILDING, L. P. (Eds.). *Spatial variabilities of soils and landforms.* Madison, Wisconsin: Soil Science Society of America, 1991. p. 9-24. (SSSA Special Publication; n. 28).

HALL, M. J. **Urban Hydrology.** London: Elsevier Applied Science, 1984.

HART, D. D.; KINELLI, C. M. Physical-biological coupling in streams: the pervasive effects of flow on benthic organisms. **Annual Review of Ecology and Systematics.** v. 30, p. 1999.

HASENACK, H (Coord) *et al.* **Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre: geologia, solos, drenagem, vegetação, ocupação e paisagem.** Porto Alegre: Secretaria do Meio Ambiente, 2008.

HASENACK, H.; WEBER, E.J.; LUCATELLI, L.M.L. 2010. Base altimétrica vetorial contínua do município de Porto Alegre-RS na escala 1:1.000 para uso em sistemas de informação geográfica. Porto Alegre, UFRGS-IB-Centro de Ecologia. **ISBN 978-85-63843-03-6.** Disponível em <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>. Acesso em: 21 de mar. 2010.

HESSION, W. C. *et al.* Ecological Benefits of Riparian Reforestation in Urban Watersheds. **Environmental Monitoring and Assessment.** v. 63, 2000.

HEZRI, J. E. *et al.* Sustainability Indicators, Policy and Governance: issues for Ecological Economics. **Ecological Economics,** v. 60. 2006.

HILL, K. Z.; BOTSFORD, E.; BOOTH, D. B. **A Rapid Land Cover Classification Method for Use in Urban Watershed Analysis.** Water Resources Series Technical Report No. 173, University of Washington, 2003. 20 p. Disponível em: <http://depts.washington.edu/cwws/Research/Reports/landcover03.pdf>. Acesso em: 05 Maio 2008.

HIRATA, R. C. A. e FERREIRA, L. M. R. Os Aquíferos da Bacia Hidrográfica do alto Tietê: Disponibilidade Hídrica e Vulnerabilidade à Poluição. **Revista Brasileira de Geociências.** Vol.31, 2001.

HOFF, J. T. *et al.* **Measurement of the specific surface area of snow with nitrogen adsorption technique.** Environmental Science and Technology. 1998, 32.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2000.** Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/default.shtm>>. Acesso em: 14 abr. 2009.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Mapeamento Geomorfológico do Estado de São Paulo.** São Paulo. Escala 1:500.000, v. 2, 1981.

KARR, J. R., **Rivers as Sentinels: Using the biology of rivers to guide landscape management.** River ecology and management: Lessons From the Pacific Coastal Ecosystems, New York: Springer, 1998.

KARR, J. R.. **Assessment of biotic integrity using fish communities.** *Fisheries,* v. 6, 1981.

KAWAKUBO, F. S. *et al.* Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 4., 2005. Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, p. 2203-2210.

KIRKBY, M. J.; CHORLEY, R.J. Throughflow, Overland Flow and Erosion. **Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology.** vol. 12, n. 3, 1967.

LEITE, P. F.; KLEIN, R. M. **Vegetação.** In: IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geografia do Brasil: Região Sul. Rio de Janeiro: 1990.

LEMA de Thales. **Os Répteis do RS - Atuais e Fósseis – Biogeografia – Ofidismo**. Porto Alegre: EDIPUCRS. 2002.

LINDMAN, C. A. M.; FERRI, M. G. **A Vegetação do Rio Grande do Sul**. Belo Horizonte: Itatiaia, 1974.

LINS, M. *et al.* **Influência da cobertura do solo e do comprimento da vertente no transporte de sedimentos**. In: Paiva, E.M.C.D.; Paiva, J.B.D. (eds.). Caracterização qualitativa da produção de sedimentos. Santa Maria: ABRH/UFSM, 2001. cap.1, p.11-23.

LOBO FERREIRA, J. P. C.; CABRAL, M. Proposal for an operational definition of vulnerability for the european community's atlas of groundwater resources. In: Meeting of the European Institute for Water, 1991, Bruxelas. **Anais...** Bruxelas: Groundwater Work Group, 1991. CD-ROM.

MACHADO, A. T e MACHADO C. T. **Agricultura urbana**. Planaltina, D. F : Embrapa Cerrados, 2002. 25 p.- (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111; 48).

MAGALHÃES, C.S.; FERREIRA, R.M. Áreas de preservação permanente em uma microbacia. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte. V. 21, n.207, p. 33-39, 2000.

MAKSIMOVIC, C. General overview of urban drainage principles na practice. In: TUCCI, Carlos E. M. **Urban drainage specific climates: urban drainage in humid tropics**. Paris: UNESCO. IHP-V. Technical Documents in Hydrology. No 40. v.I. cap.0, 2001. p1-23.

MARQUES, D. M. M.; SILVEIRA, A. L. L. **System of Pluvial and Fluvial urban water Evaluation**. Final Report, PROSAB 5, 2006, Finep, Pluvial water handling, 2009.

MATOS FIERZ, M. S. **As abordagens sistêmicas e do equilíbrio dinâmico na análise da fragilidade ambiental do litoral do estado de São Paulo: contribuição à geomorfologia das planícies costeiras**. Tese de Doutorado, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo. 2008. 394 p.

MENEGAT, R. *et al.* (Coord.). **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: UFRGS, 3ed. 2006.

METZGER, J. P. *et al.* Uma área de relevante interesse biológico, porém pouco conhecida: a Reserva Florestal do Morro Grande. **Biota Neotrop**. 6(2): 2006. Disponível em: <http://www.biotaneotropica.org.br/v6n2/pt/abstract?article+bn00406022006>

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA: Projeto Relatório 1 – **Desenvolvimento metodológico e tecnológico para avaliação ambiental integrada aplicada ao processo de análise de viabilidade de hidrelétricas**. Santa Maria: UNIPAMPA/UFSM, 2009.

_____ Vegetação pampa_latlog_sad69. shp. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/mapas/aplic/probio/datadownload.htm?/>. Acesso em: 25 de set. 2009.

_____ Relatório 2. **Desenvolvimento metodológico e tecnológico para a avaliação ambiental integrada aplicada ao processo de análise de viabilidade de hidrelétricas - FRAG-RIO**. Santa Maria: UNIPAMPA/UFSM, 2011.

MONTEIRO, C. A. F. **Geossistemas: A história de uma procura**. São Paulo: Contexto, 2000.

MONKHOUSE, C.; FARMER, A. **Applying Integrated Environmental Assessment to EU Waste Policy**. 2003. A Scoping Paper for the European Forum on Integrated Environmental Assessment (EFIEA). Disponível em: <http://www.ieep.eu/assets/181/efieafinalreport.pdf>. Acesso em: 20 de Fev. 2012.

MOTA, S. **Introdução à Engenharia Sanitária**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental Ed., Rio de Janeiro, 1997.

NAVEH, Z.; LIEBERMAN, A. S. **Ecología de Paisajes: teoría y aplicación**. Buenos Aires: Facultad de Agronomía. 2001.

NERI – NATIONAL ENVIRONMENTAL RESEARCH INSTITUTE. IVERSEN, M. T. *et al.* (authors). (1997). **Integrated Environmental Assessment on Eutrophication, A Pilot Study**. Technical Report No 207, Ministry of Environment and Energy. Denmark, 1997.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Tradução de Kurt G. Hell. São Paulo: Pioneira, 1969.

OHNUMA, JUNIOR. A. A. **Cenários de reuso da água pluvial e controle da drenagem visando a recuperação ambiental da Microbacia do Alto Tijuco Preto de São Carlos**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. (EESC). Universidade de São Paulo-SP. 2005.

OLMOS, C.; ACHAVAL, F. **Mamíferos de La República Oriental Del Uruguay – Guia fotográfico**. 2d. Edición. Montivideu, Uruguay. 2007.

PHILIP, R.P. **A Evolução Geológica e Tectônica do Batólito Pelotas, RS**. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1998. 371 p.

PHILIP, R. P. *et al.* Caracterização Litológica e Evolução Metamórfica da Porção Leste do Complexo Metamórfico Brusque, Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geociências**, 34. 2004.

PINHEIRO, A. Capítulo 7 – **Enchente e Inundação**. In: Vulnerabilidade Ambiental - Desastres Naturais ou fenômenos induzidos?. Brasília - DF, org. MMA, 2007.

PINTÉR, L.; ZAHEDI, K.; CRESSMAN, D. R. Capacity Building for Integrated Environmental Assessment and Reporting. **Training Manual**. 2ed. ISBN 1-895536-23-5. 2000.

PIRES NETO, A. G. WEILL, M. A. M. Capítulo 4 – **Erosão e Assoreamento**. In: Vulnerabilidade Ambiental - Desastres Naturais ou fenômenos induzidos?. Brasília - DF, org. MMA, 2007.

PORTO ALEGRE, Prefeitura Municipal. Secretaria de Planejamento Municipal. PDDUA: **Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre, RS. 2000.

PORTO ALEGRE, Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Departamento Municipal de Água e Esgoto. PDA: **Plano Diretor de Água**. Porto Alegre, RS: 4ªed.. 2010.

PORTO, M. F. **Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas**. In: Tucci, C. E. M; Porto, R. L. L.; Barros, M. T. Drenagem Urbana. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 1995.

- PORTO, R.; ZAHED FILHO, K.; TUCCI, C. e BIDONE, F. **Drenagem Urbana**. In: Hidrologia: Ciência e Aplicação, 2º Ed. (Org.: TUCCI, C. E. M.). Porto Alegre: UFRGS, 1997.
- PORTO, R. L. L; AZEVEDO, L. G. T. **Sistemas de suporte a decisões de recursos hídricos**. In: Porto, R. L. L. Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídrico. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 1997.
- REIS, J. T. **Influência do uso e ocupação da terra no ecossistema aquático da sub-bacia hidrográfica do Arroio Cadena, em Santa Maria – RS**. 2006. f. 110. Dissertação (Mestrado em Geomática). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 2006.
- REIS, J. T; SILVEIRA, A. L. L.; PEREIRA FILHO, W. **Estimativa entre Densidade Habitacional e Áreas Impermeáveis na Região Urbana da Sub-bacia Hidrográfica do Arroio Cadena em Santa Maria, RS**. Ciência e Natura, v. 33, p. 145-160, 2011.
- RIBEIRO, C. A. A. S. *et al.* O desafio da delimitação de áreas de preservação permanente. **Revista Árvore**, v.29, n.2, 2005.
- COBB, C. W.; RIXFORD, C. **Lessons learned from history of social indicators**. San Fransisco: Redefining Progress, 1998.
- ROESNER, LA; TRAINA, P. Overview of federal law and Regulation for urban runoff – USEPA. **Water Scence e Tecnology**. V.29 n.1-2. 1994.
- ROISENBERG, A.; *et al.* **Caracterização da Qualidade das Águas Subterrâneas de Porto Alegre**. Porto Alegre: UFRGS/ DEMAÉ, 2002.
- ROSS, J. **Geomorfologia - Ambiente e Planejamento**. São Paulo: Contexto. 2001
- ROSS, J. L. S. **Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados**. In: Revista do Departamento de Geografia n°8, FFLCH-USP, São Paulo, 1994.
- ROSS, J. L. S. **Registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo**. Rev. Geografia. São Paulo, IG-USP, 1992.
- ROSSETTO, A. M. **Proposta de um sistema integrado de gestão do ambiente urbano (Sigau) para o desenvolvimento sustentável de cidades**. Santa Catarina: UFSC; 2003. 298f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2003.
- SANTOS, L. J. C.; CASTRO, S. S. **Lamelas (Bandas Onduladas) em Argissolo Vermelho-Amarelo como indicadores da Evolução do Relevo: o caso das Colinas Médias do Platô de Bauru (SP)**. Revista Brasileira de Geomorfologia, União da Geomorfologia Brasileira, ano 7, n. 1, 2006.
- SANTOS, M. **A Urbanização brasileira**. 3ed. São Paulo: Hucitec, 1996. (Estudos Urbanos).
- SCHUELER, T.; L. HERSON-JONES. **Site planning for urban stream protection**. Washington: US Environmental Protection Agency, 1995.

SEGNESTAM, L. **Indicators of environmental and sustainable development: Theories and Practical Experiences.** World Bank, Washington DC. 2002.

SILVA, F. **Mamíferos Silvestres - Rio Grande do Sul.** Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, 1994.

SILVEIRA, G. L.; CRUZ, J. C. (eds.) **Seleção ambiental de barragens: análise de favorabilidades ambientais em escala de bacia hidrográfica.** Santa Maria: ED. UFSM/ABRH, 2005.

SKORUPA, L. A. **Áreas de preservação permanente e desenvolvimento sustentável.** Jaguariúna: EMBRAPA/Meio ambiente, 2003. 4 p.

SNYDER, C. D. *et al.* Influences of upland and riparian land use patterns on stream biotic integrity. **Landscape Ecology**, v. 18, 2003.

SPÖRL C.; ROSS J. L. S. **Análise Comparativa da Fragilidade Ambiental com Aplicação de Três Modelos.** São Paulo, GEOUSP, nº 15, 2004. p.39-49.

STOLLE, L.; LINGNAU, C. e ARCE, J. E. Mapeamento da fragilidade ambiental em áreas de plantios florestais. **Anais... XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 1871-1873.

STRAHLER, A. N. **Dynamic basis of Geomorphology.** Geol. Soc.America Bulletin. 1952.

SUDESUL. Superintendência de Desenvolvimento da Região Sul. A vegetação atual da Região Sul. Porto Alegre: 1978. (Série Planejamento e Estudos Regionais, 2).

SUERTEGARAY, D. M. A.; FUJIMOTO, N. S. V. M. Morfogenese do relevo do Estado do Rio Grande do Sul. In: VERDUM, R., BASSO, L. A., SUERTEGARAY, D. M. A. (Orgs.) **Rio Grande do Sul: paisagens e territórios em transformação.** Porto Alegre : Editora da UFRGS, 2004, 11-26p.

SUSTAINABLE SEATTLE. **Sustainable seattle indicators.** First Avenue. Washington, Estados unidos. Disponível em: www.sustainableseattle.org. 1998.

TEIXEIRA, B. A. N.; SILVA, R. S. (coords.) **Urbanismo e saneamento urbano sustentáveis.** Relatório. São Carlos, 1998.

TEXEIRA, J. C.; GUILHERMINO, R. L. Análise da associação entre saneamento e saúde nos estados brasileiros, empregando dados secundários do banco de dados indicadores e dados básicos para a saúde 2003 – IDB. 2003. **Revista de Engenharia Sanitária Ambiental.** v.11, no 3;277-282.jul/set 2006.

TREVISAN, M. L. **Sensibilidade de fatores para valoração do ambiente com uso de avaliação multicritério e geoprocessamento digital.** Universidade Federal de Santa Maria. f 165. Tese de Doutorado (Doutor em Engenharia Agrícola). Santa Maria - UFSM. f 165. 2008.

TREVISAN, M. L.; PADILHA, D. G.; CRUZ, R. C. **Sensibilidade da ponderação em fatores usados em avaliação multicritério ambiental para análise de fragilidades em bacia hidrográfica.** 2º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente. Bento Gonçalves – RS, Brasil, 28 a 30 de Abril de 2010.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE 1977.

TUCCI, C. A. M. Gerenciamento da drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, ABRH, Porto Alegre, v.7, n.1, Jan./Mar.2002, p.5-28, 2002.

TUCCI, C. E. M.; COLLISCHONN, W. Drenagem urbana e Controle de Erosão. VI Simpósio Nacional de Controle da Erosão. Presidente Prudente, São Paulo. **Anais**.1998.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. Tucci, C.E.M.; R.L.L. Porto, e M.T. Barros. Drenagem Urbana. Porto Alegre: EdUFRGS /ABRH, Porto Alegre, 1995.

TUCCI, C. M. **Inundações Urbanas**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007 (Coleção ABRH de Recursos Hídricos).

TUCCI, C. M.; MENDES, C.A **Avaliação Ambiental Integrada**. In: Avaliação ambiental integrada de bacia urbana. Ministério do Meio Ambiente/SQA. Brasília: MMA. 2006.

TUCCI, E. M; BERTONI J. C. (Org.) **Inundações Urbanas na América do Sul**: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre 2003.

TUCCI, *et al.* **Avaliação Ambiental**. Disponível em: http://www.rhama.net/areasatuacao_avalicao.asp. Acesso em: 20 de set. 2012.

UNEP. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. AFRICA ENVIRONMENT INFORMATION NETWORK (AEIN): **Framework For Capacity Building In Integrated Environmental Assessments And Reporting In Africa**. NAIROBI. 2003. Disponível em: http://www.unep.org/dewa/africa/docs/en/aein_framework_document.pdf. Acesso em: 10/04/2012.

US **Environmental Protection Agency. Clean Water Act**. Washington: USEPA, 2007. Disponível em: <http://www.epa.gov/region5/water/cwa.htm>. Acesso: 18 Set, 2008.

VAN DIJK, F. **Social ties and economic performance**. Dordrecht: Netherlands, 1997.

WILL, J. T.; BRING. S. **Devoluping indicators of environmental and health**. University of Huddersfield. Institute of Environmental and Policy analysis. World Health Statistics Quarterly. V. 48, n.2, p. 155-163. U. K., 1995.

ANEXOS

ANEXO A

Quadro A1 – Índice de vulnerabilidade das águas subterrâneas

Nº Poço	Nº UTME	Nº UTMN	Vulnerabilidade	Classe
4300000116	486375	6681850	0,558	Alta
4300000117	482650	6680600	0,558	Alta
4300000118	480975	6682550	0,54	Alta
4300000124	478125	6675675	0,594	Alta
4300000129	486975	6670650	0,536	Alta
4300000130	481975	6671900	0,63	Alta
4300000131	479800	6661975	0,594	Alta
4300000132	480125	6661375	0,567	Alta
4300000133	480500	6661500	0,63	Alta
4300000145	486850	6660750	0,567	Alta
4300000146	493140	6655982	0,612	Alta
4300001049	483614	6675216	0,585	Alta
4300001050	479314	6674499	0,56	Alta
4300001051	486200	6658150	0,496	Média
4300001052	477923	6674603	0,621	Alta
4300001053	478114	6669126	0,528	Alta
4300001054	481750	6657850	0,567	Alta
4300001055	488900	6664800	0,567	Alta
4300001056	478082	6668840	0,6	Alta
4300001058	484529	6660134	0,63	Alta
4300001429	479063	6675136	0,585	Alta
4300001430	477719	6669984	0,544	Alta
4300001431	479792	6665018	0,603	Alta
4300001432	484134	6674519	0,416	Média
4300001433	488120	6682100	0,594	Alta
4300001434	478238	6675658	0,657	Alta
4300001435	481900	6671850	0,63	Alta
4300001437	480312	6678469	0,52	Alta
4300001438	482390	6680817	0,63	Alta
4300001439	483474	6677166	0,675	Alta
4300001440	480114	6672158	0,456	Média
4300001441	488800	6682200	0,528	Alta
4300001442	476445	6667559	0,512	Alta
4300001443	476558	6667441	0,585	Alta
4300001444	482425	6677507	0,594	Alta
4300001445	484313	6674378	0,52	Alta
4300001446	480647	6680233	0,585	Alta
4300001447	483406	6677700	0,528	Alta
4300001448	481150	6659700	0,63	Alta
4300001449	478620	6676200	0,63	Alta
4300016356	484315	6678148	0,54	Alta
4300016357	484089	6678118	0,567	Alta
4300016785	489094	6683571	0,48	Média
4300016787	483895	6676509	0,44	Média
4300016913	300803	6672771	0,54	Alta

4300016929	484089	6678118	0,54	Alta
4300017027	483852	6682469	0,513	Alta
4300017032	485913	6679830	0,49	Média
4300017157	478698	6677955	0,44	Média
4300017328	478590	6677670	0,33	Média
4300017330	478657	6677734	0,33	Média
4300017331	447877	6677807	0,44	Média
4300018033	485348	6679748	0,549	Alta
4300018034	480970	6676092	0,48	Média
4300018035	490994	6654297	0,56	Alta
4300018036	478130	6674551	0,488	Média
4300018037	484594	6669541	0,5096	Alta
4300018038	483130	6668160	0,495	Média
4300018039	477403	6672700	0,585	Alta
4300018040	483470	6679009	0,472	Média
4300018041	477201	6670691	0,63	Alta
4300018042	491870	6661439	0,44	Média
4300018043	483910	6668364	0,63	Alta
4300018044	487316	6682760	0,504	Alta
4300018045	476574	6672291	0,528	Alta
4300018046	492322	6663384	0,56	Alta
4300018047	485344	6681773	0,585	Alta
4300018048	485039	6668967	0,528	Alta
4300018049	487694	6676686	0,464	Média
4300018050	485049	6668998	0,528	Alta
4300018051	484078	6674554	0,48	Média
4300018052	484692	6668078	0,6147	Alta
4300018053	494035	6657101	0,585	Alta
4300018054	477296	6670506	0,504	Alta
4300018055	476058	6670751	0,6	Alta
4300018056	488175	6682310	0,528	Alta
4300018057	482000	6675726	0,52	Alta
4300018058	481552	6668413	0,488	Média
4300018059	482221	6674378	0,488	Média
4300018060	482799	6666701	0,495	Média
4300018061	483084	6668122	0,54	Alta
4300018062	490627	6681775	0,42	Média
4300018063	478020	6669454	0,528	Alta
4300018064	480271	6671366	0,584	Alta
4300018065	477345	6669894	0,544	Alta
4300018066	478607	6677382	0,504	Alta
4300018067	481632	6678745	0,441	Média
4300018068	488371	6677747	0,56	Alta
4300018069	480205	6669816	0,63	Alta
4300018070	479873	6672641	0,336	Média
4300018071	480211	6669889	0,42	Média
4300018072	480801	6677029	0,511	Alta
4300018073	478481	6674547	0,594	Alta
4300018074	478015	6677706	0,63	Alta
4300018075	485358	6679961	0,612	Alta
4300018076	479785	6669674	0,518	Alta
4300018077	481894	6670808	0,567	Alta

4300018078	479788	6672686	0,549	Alta
4300018079	481636	6674070	0,52	Alta
4300018080	487410	6678565	0,54	Alta
4300018081	483138	6668312	0,441	Média
4300018082	482995	6683583	0,558	Alta
4300018083	478212	6667978	0,544	Alta
4300018084	478340	6667524	0,49	Média
4300018085	479072	6675134	0,48	Média
4300018086	485133	6670960	0,576	Alta
4300018087	489745	6657553	0,528	Alta
4300018088	480110	6669541	0,48	Média
4300018089	476437	6671740	0,558	Alta
4300018090	484013	6668323	0,56	Alta
4300018091	481970	6671388	0,584	Alta
4300018092	483655	6675512	0,56	Alta
4300018093	486761	6671596	0,594	Alta
4300018094	485395	6679991	0,522	Alta
4300018095	482528	6678241	0,464	Média
4300018096	479128	6675910	0,567	Alta
4300018097	482057	6677090	0,56	Alta
4300018098	484098	6677647	0,594	Alta
4300018099	476376	6671331	0,54	Alta
4300018100	490199	6682769	0,42	Média
4300018101	480855	6678020	0,372	Média
4300018102	485927	6680273	0,36	Média
4300018103	478138	6667727	0,448	Média
4300018104	495575	6655465	0,504	Alta
4300018105	484609	6678999	0,504	Alta
4300018106	487204	6671348	0,448	Média
4300018107	481794	6674984	0,567	Alta
4300018108	481807	6675045	0,522	Alta
4300018109	484988	6678007	0,52	Alta
4300018110	481359	6677548	0,544	Alta
4300018111	478206	6667795	0,584	Alta
4300018112	477974	6667883	0,434	Média
4300018113	484343	6675146	0,48	Média
4300018114	486748	6678831	0,54	Alta
4300018115	483941	6670111	0,63	Alta
4300018116	479242	6664039	0,63	Alta
4300018117	479415	6668700	0,385	Média
4300018118	479470	6668575	0,525	Alta
4300018119	489650	6683134	0,612	Alta
4300018120	480872	6682340	0,413	Média
4300018121	479350	6668666	0,385	Média
4300018122	477754	6676587	0,585	Alta
4300018123	489188	6683584	0,48	Média
4300018124	489353	6683580	0,48	Média
4300018125	479628	6668608	0,49	Média

ANEXO B

Quadro B1 – Carga orgânica remanescente por unidade censitária na bacia hidrográfica do arroio Capivara, Porto alegre- RS.

ID_	NAME2_	UF	MESO	MICRO	Área por unidade Censitária	Carga Orgânica Remanescente	Área/ha
431490205000008	Porto Alegre	1	732	0	0,003356	5132,896	0,3356
431490205000013	Porto Alegre	1	711	0	0,003716	7948,288	0,3716
431490205000015	Porto Alegre	1	701	0	0,006392	19894,685	0,6392
431490205000053	Porto Alegre	1	700	0	0,002887	10024,287	0,2887
431490205000054	Porto Alegre	1	695	0	0,003260	9012,549	0,3260
431490205000061	Porto Alegre	1	694	0	0,004215	31375,089	0,4215
431490205000064	Porto Alegre	1	691	0	0,004180	30423,445	0,4180
431490205000065	Porto Alegre	1	689	0	0,008185	16691,509	0,8185
431490205000066	Porto Alegre	1	660	2	0,050915	1715,869	5,0915
431490205000077	Porto Alegre	1	666	0	0,003803	19307,875	0,3803
431490205000080	Porto Alegre	1	662	0	0,002903	34299,501	0,2903
431490205000081	Porto Alegre	1	669	0	0,005548	21218,457	0,5548
431490205000082	Porto Alegre	1	670	0	0,005627	14059,001	0,5627
431490205000083	Porto Alegre	1	681	0	0,009172	4686,437	0,9172
431490205000087	Porto Alegre	1	678	0	0,004321	22467,716	0,4321
431490205000103	Porto Alegre	1	559	1	0,017835	2082,433	1,7835
431490205000104	Porto Alegre	1	577	0	0,002618	12292,482	0,2618
431490205000105	Porto Alegre	2	560	1	0,014110	2774,878	1,4110
431490205000106	Porto Alegre	1	742	0	0,001239	18931,891	0,1239
431490205000271	Porto Alegre	1	972	1	0,018652	8107,697	1,8652
431490205000272	Porto Alegre	1	970	2	0,100450	1418,810	10,0450
431490205000278	Porto Alegre	1	1527	1	0,031304	4512,043	3,1304
431490205000284	Porto Alegre	1	1554	1	0,028658	6181,434	2,8658
431490205000287	Porto Alegre	1	1558	1	0,018944	8230,675	1,8944

431490205000291	Porto Alegre	1	1590	1	0,017366	7135,252	1,7366
431490205000292	Porto Alegre	1	1606	1	0,022562	6198,919	2,2562
431490205000293	Porto Alegre	1	1607	1	0,015189	10914,478	1,5189
431490205000294	Porto Alegre	1	1598	0	0,008219	21081,897	0,8219
431490205000295	Porto Alegre	1	1595	0	0,005421	22948,167	0,5421
431490205000296	Porto Alegre	1	1597	1	0,012441	16208,406	1,2441
431490205000297	Porto Alegre	1	1596	1	0,011903	16075,662	1,1903
431490205000298	Porto Alegre	1	1599	1	0,010379	10433,919	1,0379
431490205000299	Porto Alegre	1	1591	1	0,022392	13017,764	2,2392
431490205000300	Porto Alegre	1	1592	1	0,032485	10209,863	3,2485
431490205000301	Porto Alegre	1	1593	0	0,011918	5675,206	1,1918
431490205000306	Porto Alegre	1	1548	1	0,015701	12286,501	1,5701
431490205000307	Porto Alegre	1	1362	1	0,012606	4705,884	1,2606
431490205000308	Porto Alegre	1	1205	1	0,008682	6811,015	0,8682
431490205000309	Porto Alegre	1	1360	1	0,018693	4867,917	1,8693
431490205000310	Porto Alegre	1	1549	1	0,011461	10591,960	1,1461
431490205000311	Porto Alegre	1	1551	0	0,011018	20697,706	1,1018
431490205000312	Porto Alegre	1	1542	1	0,017887	9671,589	1,7887
431490205000313	Porto Alegre	1	1534	1	0,034566	3230,600	3,4566
431490205000314	Porto Alegre	1	1533	1	0,029371	4854,224	2,9371
431490205000316	Porto Alegre	1	1543	0	0,005599	17054,242	0,5599
431490205000318	Porto Alegre	1	1544	1	0,010310	5233,264	1,0310
431490205000337	Porto Alegre	1	1370	1	0,017715	8223,859	1,7715
431490205000338	Porto Alegre	1	1369	1	0,020012	6185,552	2,0012
431490205000341	Porto Alegre	1	1367	2	0,128231	1571,115	12,8231
431490205000342	Porto Alegre	1	1346	2	0,063673	1552,212	6,3673
431490205000344	Porto Alegre	1	1471	2	0,144546	543,808	14,4546
431490205000345	Porto Alegre	2	1470	1	0,027569	3634,361	2,7569
431490205000346	Porto Alegre	1	1472	1	0,046003	2100,387	4,6003

431490205000348	Porto Alegre	1	1469	2	0,161194	391,422	16,1194
431490205000349	Porto Alegre	1	1479	1	0,020300	8768,394	2,0300
431490205000354	Porto Alegre	1	1618	0	0,007572	15267,255	0,7572
431490205000355	Porto Alegre	1	1616	0	0,014420	4006,935	1,4420
431490205000356	Porto Alegre	1	1844	1	0,039533	3701,718	3,9533
431490205000358	Porto Alegre	1	1484	1	0,058681	877,495	5,8681
431490205000359	Porto Alegre	1	1482	2	0,197777	829,434	19,7777
431490205001228	Porto Alegre	1	1237	1	0,020650	341,863	2,0650
431490205001232	Porto Alegre	1	1208	2	0,189930	194,709	18,9930
431490205001240	Porto Alegre	1	332	2	0,193685	1447,386	19,3685

ANEXO C

Quadro C1 - Lista da fauna terrestre

Espécie	Nome popular	Família	Situação	Endemismo	FRAG
<i>Speotyto cunicularia</i>	Coruja do Campo	Strigidae	na	ne	10
<i>Vanellus chilensis</i>	Quero-Quero	Charadriidae	na	ne	10
<i>Pitangus sulphuratus</i>	Bem-te-vi	Tyrannidae	na	ne	10
<i>Procyon cancrivorus</i>	Mão-Pelada	Procyonidae	na	ne	10
<i>Piculus aurulentus</i>	Pica-pau-dourado	Picidae	ameaçada Ex.	ne	250
<i>Picumnus nebulosus</i>	pica-pau-anão-carijó	Picidae	na	ne	10
<i>Caiman latirostris</i>	Jacaré-de-papo-amarelo	Alligatoridae	na	ne	10
<i>Hydrochoerus hydrochaeris</i>	Capivara ou Capincho	Caviidae	na	ne	10
<i>Myocastor coypus bonariensis</i>	ratão-do-banhado	Mycastoridae	na	ne	10
<i>casmerodius albus</i>	Garça-branca-grande	Ardeidae	na	ne	10
<i>Furnarius Rufus</i>	João-de Barro	Furnaridae	na	ne	10
<i>Buteo magnirostris</i>	Gavião-carijó	Accipitridae	na	ne	10
<i>Coragyps atratus</i>	Urubu-de-cabeça-preta	Cathartidae	na	ne	10
<i>Rhea americana</i>	Avestruz ou Ema	Rheidae	na	ne	10
<i>Dusycyon thous</i>	Graxaim-do- mato	Canidae	na	ne	10
<i>Otus choliba</i>	Corujinha -do-mato	Tytonidae	na	ne	10
<i>Micrurus frontalis</i>	Cobra-coral-verdadeira	Elapídeo	na	ne	10
<i>Tigrisoma sp.</i>	Socó-boi	Ardeidae	na	ne	10
<i>Liophis pictostriatus</i>	cobra-verde		na	ne	10
<i>Cavia aperea</i>	Preá	Caviidae	na	ne	10
<i>Teiurus oculatus</i>	Lagarto-verde	Teiidae	na	ne	10
<i>Dasyypus novemcinctus</i>	Tatu-galinha	Dasypodidae	na	ne	10
<i>Coendou villosus</i>	Ouriço-cacheiro	Erethizontidae	na	ne	10
<i>Glossophaga soricina</i>	Morcego-beija-flor	Phyllostomidae	na	ne	10
<i>Nasua nasua</i>	Coati	procyonidae	na	ne	10

<i>Felis geoffroi</i>	Gato-do-mato	Felidae	na	ne	10
<i>Alouatta fusca</i>	Bugio-ruivo	Cebidae	na	ne	10
<i>Didelphis albiventris</i>	gambá-de-orelha-branca	Didelphidae	na	ne	10
<i>Didelphis marsupialis</i>	gambá-de-orelha-preta	Didelphidae	na	ne	10
<i>Machetornis rixosus</i>	Suiriri-cavaleiro	Tyrannidae	na	ne	10
<i>Ordem Coleoptera</i>	Besouro-verde				
<i>Philodryas olfersii</i>	Cobra-cipó	Philodryadini	na	ne	10
<i>Turdus rufiventris</i>	sabiá-laranjeira	Muscicapidae	na	ne	10
<i>Dasyprocta azarae</i>	Cutia	Dasyproctidae	raras		115
<i>Phalacrocorax olivaceus</i>	Biguá	Phalacrocoracidae	na	ne	10
<i>Dendrocygna viduatra</i>	Marreca-piadeira	Anatidae			10
<i>Phimosus infuscatus</i>	Maçarico do banhado	Threskiornithidae	na	ne	10
<i>Zonotrichia capensis</i>	Tico-tico	Fringillidae	na	ne	10
<i>Tupinambis tequixim</i>	Lagarto-do-papo-amarelo	Scincidae	na	ne	10
<i>Conepatus chinga</i>	Zorrilho	Mustelidae	na	ne	10
<i>Scinax vauteri</i>	Perereca-do-banheiro				
<i>Physalaemus cuvieri</i>	Rã-cachorro				
<i>Leptodactylus ocellatus</i>	Rã-criola				
<i>Ceryle torquata</i>	Martim-pescador-grande	Alcedinidae	na	ne	10
<i>Lutra longicaudis</i>	Irara ou Lontra				
<i>Troglodytes musculus</i>	Corruíra	Troglodytidae	na	ne	10
<i>Ardea cocoi</i>	Garça-moura	Ardeidae	na	ne	10
<i>Agelaius ruficapillus</i>	Garibaldi	Vireonidae	na	ne	10
<i>Melanophryniscus tumifrons</i>	sapinho-de-barriga-vermelha	Bufonidae	ameaçada Ex.	ne	250
<i>Melanophryniscus dorsalis</i>	Flamenguinho, (sapinho)	Bufonidae	na	ne	10
<i>Limnoctites rectirostris</i>	Junqueiro-de-bico-reto	Furnariidae	na	ne	10
<i>Amazona pretrei</i>	Papagaio-charão	Psittacidae	ameaçada Ex	ne	250
<i>Oryzomys nigripes</i>	Ratinho-do-mato	Cricetidae	na	ne	10
<i>Ctenomys torquatus</i>	Tuco-tuco	Ctenomyidae	na	ne	10

<i>Myrmecophaga tridactyla</i>	Tamanduá-bandeira	Myrmecophagidae	ameaçada Ex	ne	250
<i>casmerodius albus</i>	Garça-branca-pequena	Ardeidae	na	ne	10
<i>Butorides striatus</i>	Socozinho	Ardeidae	na	ne	10
<i>Nycticorax nycticorax</i>	Garça-da-noite, (savacu)	Ardeidae	na	ne	10
<i>Phimosus infuscatus</i>	Maçarico-de-cara-pelada	Threskiornithidae	na	ne	10
<i>Caracara plancus</i>	Carancho	Falconidae	na	ne	10
<i>Milvago chimachima</i>	Carrapateiro	Falconidae	na	ne	10
<i>Milvago chimango</i>	Chimango	Falconidae	na	ne	10
<i>Falco sparverius</i>	Quiriquiri	Falconidae	na	ne	10
<i>Amazonetta brasiliensis</i>	Marreco-pé-vermelho	Anatidae	na	ne	10
<i>Ortalis guttata</i>	Aramã	Cracidae	ameaçadas	ne	250
<i>Gallinula chloropus</i>	Galinholá	Rallidae	na	ne	10
<i>Jacana jacana</i>	Jaçaná	Jacanidae	na	ne	10
<i>Larus dominicanus</i>	Gaiivotão	Laridae	na	ne	10
<i>Larus maculipennis</i>	Gaiivota-maria-velha	Laridae	na	ne	10
<i>Columba livia</i>	Pombo-doméstico	Columbidae	na	ne	10
<i>Columba talpacoti</i>	Rolinha rocha	Collumbidae	na	ne	10
<i>zenaida auriculata</i>	Pomba-de-bando	Columbidae	na	ne	10
<i>Columbina picui</i>	Rolinha-picuí	Columbidae	na	ne	10
<i>Leptotila verreauxi</i>	Juriti-pupu	Columbidae	na	ne	10
<i>Pyrrhura frontalis</i>	Tiriba-de-testa-vermelha	Psittacidae	na	ne	10
<i>Myopsitta monachus</i>	Caturrita	Psittacidae	na	ne	10
<i>Brotogeris chiriri</i>	Periquito-de-encontro-amarelo	Psittacidae	na	ne	10
<i>Piaya cayana</i>	Alma-de-gato	Cuculidae	na	ne	10
<i>Guira guira</i>	Anu-branco	Cuculidae	na	ne	10
<i>Hylocharis chrysurá</i>	Beija-flor-dourado	Trochilidae	na	ne	10
<i>Chloroceryle amazona</i>	Martim-pescador-verde	Alcedinidae	na	ne	10
<i>Colaptes melanochloros</i>	Pica-pau-verde-barrado	Picidae	na	ne	10
<i>Colaptes campestris</i>	Pica-pau-do-campo	Picidae	na	ne	10

<i>Synallaxis spixi</i>	João-teneném	Furnariidae	na	ne	10
<i>Certhiaxis cinnamomea</i>	Curutié	Furnariidae	na	ne	10
<i>Clibanornis dendrocolaptoides</i>	Cisqueiro	Furnariidae	vu	ne	10
<i>Anumbius annumbi</i>	Cochicho	Furnariidae	na	ne	10
<i>Syndactyla rufosuperciliata</i>	Trepador quiete	Furnariidae	na	ne	10
<i>Thamnophilus caerulescens</i>	vira-folha	Formicariidae	na	ne	10
<i>Thamnophilus ruficapillus</i>	Choca-de-boné-vermelho	Formicariidae	na	ne	10
<i>Conopophaga lineata</i>	Chupa-dente	Conopophagidae	na	ne	10
<i>Phylloscartes ventralis</i>	Borboletinha-do-mato	Tyrannidae	na	ne	10
<i>Todirostrum plumbeiceps</i>	Tororó	Tyrannidae	na	ne	10
<i>Platyrinchus mystaceus</i>	Patinho	Tyrannidae	na	ne	10
<i>Myiophobus fasciatus</i>	Filipe	Tyrannidae	na	ne	10
<i>Lathrotriccus euleri</i>	Enferrujado	Tyrannidae	na	ne	10
<i>Pyrocephalus rubinus</i>	Príncipe	Tyrannidae	na	ne	10
<i>Xolmis irupero</i>	Noivinha	Tyrannidae	na	ne	10
<i>Tyrannus melancholicus</i>	Suiriri	Tyrannidae	na	ne	10
<i>Tyrannus savana</i>	Tesourinha	Tyrannidae	na	ne	10
<i>Chiroxiphia caudata</i>	Dançador	Pipridae	na	ne	10
<i>Progne tapera</i>	Andorinha-do-campo	Hirundinidae	na	ne	10
<i>Notiochelidon cyanoleuca</i>	Andorinha-pequena-de-casa	Hirundinidae	na	ne	10
<i>Mimus saturninus</i>	Sabiá-do-campo	Mimidae	na	ne	10
<i>Turdus amaurochalinus</i>	Sabiá-poca	Muscicapidae	na	ne	10
<i>Turdus albicollis</i>	Sabiá-coleira	Muscicapidae	na	ne	10
<i>Polioptila dumicola</i>	Balança-rabo-de-máscara	Muscicapidae	na	ne	10
<i>Poospiza lateralis</i>	Quete	Emberizidae	na	ne	10
<i>Sicalis flaveola</i>	Canário-da-terra-verdadeiro	Emberizidae	na	ne	10
<i>Sicalis luteola</i>	Tipio	Emberizidae	na	ne	10
<i>Sporophila caerulescens</i>	Coleirinho	Emberizidae	na	ne	10
<i>Paroaria coronata</i>	Cardeal	Emberizidae	na	ne	10

<i>Saltator similis</i>	Trinca-ferro-verdadeiro	Emberizidae	na	ne	10
<i>Thraupis sayaca</i>	Sanhaçu-cinzento	Emberizidae	na	ne	10
<i>Thraupis bonariensis</i>	Sanhaçu-papa-laranja	Emberizidae	na	ne	10
<i>Stephanophorus</i>	sanhaçu-frade	Emberizidae	na	ne	10
<i>Coereba flaveola</i>	Cambacica	Emberizidae	na	ne	10
<i>Parula pitiayumi</i>	Mariquita	Parulidae	na	ne	10
<i>Geothlypis aequinoctialis</i>	Piá-cobra	Parulidae	na	ne	10
<i>Basileuterus</i>	Pula-pula	Parulidae	na	ne	10
<i>Basileuterus leucoblepharus</i>	Pula-pula-assobiador	Parulidae	na	ne	10
<i>Cyclarhis gujanensis</i>	Pitiguari	Vireonidae	na	ne	10
<i>Sturnella superciliaris</i>	Polícia-inglesa	Icteridae	na	ne	10
<i>Oreopsar badius</i>	Asa-de-telha	Icteridae	na	ne	10
<i>Molothrus bonariensis</i>	Vira-bosta	Icteridae	na	ne	10
<i>Estrilda astrild</i>	Bico-de-lacre	Estrildidae	na	ne	10
<i>Passer domesticus</i>	Pardal	Passeridae	na	ne	10
<i>Melanophryniscus dorsalis</i>	Flamenguinho, sapinhode-barriga-vermelha	<i>Bufonidae</i>	na	ne	10
<i>Asthenes baeri</i>	Lenheiro	Furnariidae	na	ne	10
<i>Limnortyx rectirostris</i>	Junqueiro-de-bico-reto	Furnariidae	na	ne	10
<i>Amazona pretrei</i>	Papagaio-charão	Psittacidae	ameaçada	ne	250
<i>Blastocerus dichotomus</i>	Cervo-do-pantanal	Cervidae	ameaçado	ne	250
<i>Mazama nana</i>	Veado-bororó-do-sul	Cervidae	na	ne	10
<i>Chrysocyon brachyurus</i>	Lobo-guará	Canidae	na	ne	10
<i>Leopardus tigrinus</i>	Gato-do-mato	Felidae	na	ne	10
<i>Oncifelis colocolo</i>	Gato-palheiro	Felidae	em perigo	ne	115
<i>Puma concolor capricornensis</i>	Onça-parda, suçuarana, puma, onça-vermelha, leão-baio	Felidae	ameaçado	ne	250

Legenda na = não ameaçado

ne = não endêmica

CP = em perigo

ANEXO D

Quadro D1 – Lista da flora terrestre

Espécie	Nome popular	Família	Situação	pesos
<i>Adiantum fovearum</i>		Adiantaceae	END	115
<i>Aechmea bromeliifolia</i>		Bromeliaceae	VU/END	178
<i>Aechmea calyculata</i>		Bromeliaceae	CR/END	229
<i>Alchornea sidifolia</i>		Euphorbiaceae	END	115
<i>Allophylus puberulus</i>	Vacum	Sapindaceae	VU	64
<i>Apuleia leiocarpa</i>	Grápia	Fabaceae	VU	64
<i>Bauhinia candicans</i>		Fabaceae	END	115
<i>Billbergia distachya</i>		Bromeliaceae	EN/END	115
<i>Bromelia balansae</i>		Bromeliaceae	VU/END	178
<i>Calathea lindbergii</i>		Marantaceae	END	115
<i>Calliandra foliolosa</i>		Fabaceae	END	115
<i>Catasetum fimbriatum</i>		Orchidaceae	EN	115
<i>Croton urucurana</i>		Euphorbiaceae	END	115
<i>Cyrtopodium palmifrons</i>		Orchidaceae	EN	115
<i>Dyckia brevifolia</i>		Bromeliaceae	EN/END	115
<i>Epiphyllum phyllanthus</i>		Cactaceae	VU	64
<i>Erythrina falcata</i>		Fabaceae	IC	229
<i>Eupatorium megaphyllum</i>		Asteraceae	END	115
<i>Euphorbia sciadophila</i>		Fabaceae	END	115
<i>Ficus guaranítica</i>		Moraceae	IC	229
<i>Geissomeria cf. longiflor</i>		Acanthaceae	END	115
<i>Gleditsia amorphoides</i>		Cactaceae	END	115
<i>Hamelia patens</i>		Rubiaceae	END	115
<i>Heliocarpus popayanensis</i>		Tiliaceae	END	115
<i>Hoffmannia peckii</i>		Rubiaceae	END	115
<i>Holocalyx balansae</i>		Cactaceae	END	115
<i>Lafoensia nummulariifolia</i>		Lythraceae	EN/END	115
<i>Machaerium aculeatum</i>		Fabaceae	END	115
<i>Microtea scabrida</i>		Phytolaccaceae	EN/END	115
<i>Miltonia flavescens</i>		Orchidaceae	VU	64
<i>Peltophorum dubium</i>		Cactaceae	END	115
<i>Pereskia aculeata</i>		Cactaceae	VU	64
<i>Peschiera catharinensis</i>		Apocynaceae	END	115
<i>Scutellaria uliginosa</i>		Lamiaceae	END	115
<i>Solanum fusiforme</i>		Solanaceae	END	115
<i>Solanum rantonnetii</i>		Solanaceae	END	115
<i>Tillandsia cf. pulchella</i>		Bromeliaceae	END	115
<i>Trichilia catigua</i>		Meliaceae	END	115
<i>Trithrinax brasiliensis</i>	Buriti	Arecaceae	EN	115
<i>Tropaeolum warmingianum</i>		Tropaeolaceae	END	115
<i>Angelonia integerrima</i>	violeta do campo	Escrofulariáceas		1
<i>Mandevilla coccinea</i>	jalopa-encarnada	apocináceas		1
<i>Eringium sanguisorba</i>	gravata	umbelíferas		1
<i>Moritzia ciliata</i>	barragem-miúda	boragináceas	END	115
<i>Vitex megapotamica</i>	tarumã	verbenáceas		1
<i>Tillandsia stricta</i>	cravo-do-mato	bromeliáceas		1

<i>Aechmea recurvata</i>	bromélia	bromeliáceas		1
<i>Senecio heterotrichus</i>	catião melado	Margaridas		1
<i>Oncidium</i>	orquidea	Orquideas		1
<i>Dyckia leptostachya</i>	bromélia	bromélias		1
<i>Cattleya intermedia</i>	orquidea	Orquideas		1
<i>Arrobidea chica</i>	cipó-cruz	bignoniáceas		1
<i>Parodia ottonis</i>	tunas-de-bola	cactáceas		1
<i>Catleya tigrina</i>	orquidea	Orquideas		1
<i>Randia armata</i>	limoeiro do mato	rubiáceas		1
<i>Hirtella hebeclada</i>	limoeiro ou uva-de-tachodo mato	crisobalanáceas		1
<i>Butiá capitata</i>	butiazeiro	Arecaceae	AE	229
<i>Tillandsia eranthos</i>	cravo do mato	bromeliaceae	AE	1
<i>Tillandsia gardnerii</i>	cravo do mato	bromeliaceae	AE	1
<i>Vriesea gigantea</i>	bromélia	bromeliaceae	AE	1
<i>Parodia ottonis</i>	tinunha	Cactaceae	AE	1
<i>Erythrina crista-galli</i>	corticeira-do-banhado	Fabaceae	AE	229
<i>Ficus enormis</i>	figueira do mato	Moraceae	AE	229
<i>Ficus insipida</i>	figueira purgante	Moraceae	AE	229
<i>Ficus organensis</i>	figueira-de-folha-miúda	Moraceae	AE	229