

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

WILL CESAR FIORI DE OLIVEIRA

**DETERMINAÇÃO DE RISCO AMBIENTAL NA DRENAGEM FLUVIAL DA BACIA
DO RIO VERDE -PR- ATRAVÉS DO USO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA**

CURITIBA

2010

WILL CESAR FIORI DE OLIVEIRA

**DETERMINAÇÃO DE RISCO AMBIENTAL NA DRENAGEM FLUVIAL DA BACIA
DO RIO VERDE -PR- ATRAVÉS DO USO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia, Curso de Mestrado em Análise Ambiental. Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof. Dr.^a Sony Cortese Caneparo

CURITIBA

2010

DEDICATÓRIA

À minha querida esposa e companheira Tatiane, que com amor, paciência e atenção, me ajudou entre tantas dificuldades do dia a dia a realizar este sonho pessoal.

Ao filho João que por muitas vezes compreendeu a necessidade de um pai distante devido os estudos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter permitido que alcançasse meu objetivo, me amparando, nos obstáculos desta caminhada.

A Prof. ^a Dr.^a Sony Cortese Caneparo, que há anos me auxilia, incentiva e abre portas em minha vida acadêmica, compreendendo minhas dificuldades e sempre me orientando.

Ao Prof.^o Dr.^o Everton Passos, sempre solícito muito educado que acrescentou idéias essenciais ao desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof.^o Arnaldo Eugenio Ricobom, que de maneira meticulosa, observou minhas dificuldades metodológicas, ajudando na formatação deste trabalho.

Ao Amigo Roberto Carlos Pinto, que desde o início desta caminhada, esteve ao meu lado, sempre incentivando e me ajudando em momentos difíceis.

Ao Amigo Roberto Martins, pelo apoio técnico.

Aos funcionários do programa de Pós-Graduação em Geografia, em especial ao Secretário Luiz Carlos Zem.

Aos meus amados pais que sempre me incentivaram nos estudos, desde as primeiras letras, e novamente estiveram ao meu lado.

As valorosas Amigas Danielle Maria Santana e Tânia Eliane Anastácio, que sempre acreditaram, ajudaram e me incentivaram neste projeto pessoal.

As minhas Amigas pedagogas do Col. Est. Humberto de Alencar Castelo Branco, Juliana Roberto Rosa, Elisabete de Fátima Siqueira e Maria José Petruy meus agradecimentos pela compreensão e ajuda em minha ausência devido a meus estudos.

A meus vice-diretores Ivani Ferreira Ortega, Evaldo Carlos da Silva e minha Secretária Lenize Gomes, meus agradecimentos pela compreensão e ajuda administrativa na minha ausência devido a meus estudos.

A todos aqueles que contribuíram de maneira direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

“A mente que se abre a uma nova
idéia jamais voltará ao seu tamanho
original.”

Albert Einstein

RESUMO

Risco ambiental é a probabilidade de que ocorram conseqüências adversas indesejadas para a saúde, vida humana, ambiente ou bens materiais. Tais riscos podem ocorrer sempre que se promovam adaptações ou modificações no ambiente natural. Portanto estudar e identificar riscos ambientais é importante, pois pode orientar ações públicas e privadas para uma gestão mais racional e conservacionista dos recursos naturais minimizando possíveis impactos ambientais. Desta forma a presente pesquisa tem como objetivo determinar o risco ambiental às drenagens fluviais na Bacia do Rio Verde no Estado do Paraná, identificando e classificando áreas com suas potencialidades de risco. A bacia se localiza no primeiro planalto do Estado do Paraná, e abrange partes dos municípios de Campo Largo, Campo Magro, Araucária e Balsa Nova. Para as análises de risco ambiental na bacia, foram utilizados dois métodos para a classificação de risco ambiental à drenagem fluvial; o booleano e o Fuzzy ambos executados em um Sistema de Informação Geográfica. Nos dois métodos foram utilizados cinco fatores relacionados ao uso do solo (áreas industriais, áreas mineração, áreas solo exposto, áreas rurais e áreas urbanas). Esses cinco fatores foram padronizados através da lógica *Fuzzy*, para a execução das análises booleana e multicritério. Na primeira análise a booleana, através de cruzamento simples dos cinco fatores se chegou às áreas de risco ambiental dentro da bacia. Utilizando a segunda metodologia, denominada avaliação por múltiplos critérios, foi necessário atribuir pesos de importância relativa para os cinco fatores de risco ambiental para se obter as áreas de risco dentro da bacia. Os dois planos de informação com suas respectivas áreas de risco obtidos nas análises booleana e Fuzzy foram cruzados com o plano de informação contendo a drenagem fluvial da bacia, destes cruzamentos extraiu-se os dois mapas definitivos para cada metodologia onde se pôde identificar as áreas de risco ambiental à drenagem fluvial classificados em cinco diferentes níveis de risco (Baixíssimo Risco, Baixo Risco, médio Risco, alto Risco e altíssimo Risco). Desta forma após obter as áreas de risco ambiental, foram efetuadas análises em campo com a finalidade de validar os resultados. Tal validação em campo dos resultados mostrou eficácia nos dados obtidos, estes mesmos resultados também demonstraram que as análises de risco ambiental podem contribuir significativamente na implantação e em tomadas de decisão quanto ao zoneamento e atividades de uso do solo que busquem sempre o equilíbrio entre o uso da bacia hidrográfica e a conservação do meio ambiente.

Palavras chave: Risco Ambiental; Bacia Hidrográfica; Sistema de Informação Geográfica, Fuzzy, Booleano.

ABSTRACT

Environmental risk is the likelihood that unintended adverse consequences for health, life, environment or property may occur. Such risks can occur whenever promoting adaptations or modifications to the natural environment. Therefore studying and identifying environmental risks is important because it can guide public and private actions for a more rational management and conservation of natural resources while minimizing potential environmental impact. Thus, this study aims to determine the environmental risk of the river drainage in the Rio Verde Basin in the State of Paraná, identifying and classifying areas as well as their potential risk. The basin is located in the First Plateau of Paraná, and covers parts of municipalities of Campo Largo, Campo Magro, Araucaria and Balsa Nova. For the analysis of environmental risk in the basin, two methods were used for the classification of environmental risk to river drainage: Boolean and Fuzzy, which were both performed in a Geographic Information System. In both methods five factors were utilized related to land use (industrial areas, mining areas, exposed soil areas, rural and urban areas). These five factors were standardized by fuzzy logic for the implementation of Boolean and multicriterial analyses. In the first analysis, Boolean, the simple crossing of the five factors pointed to the risky areas within the basin. Using the second method called multiple criteria evaluation, it was necessary to assign relative importance weights for the five environmental risk factors to obtain risk areas within the basin. The two planes of information with their areas of risk obtained from the Boolean and Fuzzy methods were crossed with the plane containing the information of the river drainage basin. Two final maps for each methodology were retrieved from these crossings which can identify areas of environmental risk to river drainage classified into five different risk levels (very low risk, low risk, medium risk, high risk and very high risk). Thus, after obtaining the areas of environmental risk, analyses were performed on the field in order to validate the results. This field validation of the results showed the data efficacy. These same results also showed that environmental risk assessments can significantly contribute to implantation and decision making regarding zoning and land use activities that always strive for the balance between watershed use and environmental conservation.

Keywords: Environmental Risk, Watershed Geographic Information System, Fuzzy Boolean.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1– Fluxograma de Risco Ambientais e Classes	37
Figura 2 - CARTOGRAMA COM LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO, BACIA DO RIO VERDE.....	63
Figura 3 - Represa do Rio Verde.....	64
Figura 4 – Fluxograma da Metodologia.....	76
Figura 5 - MAPA DE USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL NA BACIA DO RIO VERDE.....	78
Figura 6 - Plano de Informação das Áreas Industriais.....	81
Figura 7 - Plano de Informação das Áreas de Mineração na Bacia do Rio Verde...83	
Figura 8 - Plano de Informação das Áreas de Solo Exposto na Bacia do Rio Verde	85
Figura 9 - Plano de Informação das Áreas Rurais na Bacia do Rio Verde.....	87
Figura 10 - Plano de Informação das Áreas Urbanas na Bacia do Rio Verde.....	89
Figura 11 - Plano de Informação Distance das Áreas Industriais.....	92
Figura 12 - Plano de Informação Distance das Áreas de Mineração	93
Figura 13 - Plano de Informação Distance das Áreas de Solo Exposto	94
Figura 14 - Plano de Informação Distance das Áreas Rurais.....	95
Figura 15 - Plano de Informação Distance das Áreas Urbanas.....	96
Figura 16 - FUNÇÃO SIGMOIDAL S-SHAPE.	99
Figura 17 - Plano de Informação da Padronização Pelo Método Fuzzy das Áreas Industriais	100
Figura 18 - Plano de Informação da Padronização Pelo Método Fuzzy das Áreas de Mineração.....	101
Figura 19 - Plano de Informação da Padronização Pelo Método <i>Fuzzy</i> das Áreas de Solo Exposto	102
Figura 20 - Plano de Informação da Padronização Pelo Método Fuzzy das Áreas Rurais.....	103
Figura 21 - Plano de Informação da Padronização Pelo Método Fuzzy das Áreas Urbanas.....	105
Figura 22 - Plano de Informação do Risco Ambiental das Áreas Industriais – Fuzzy Reclassificado	107

Figura 23 - Plano de Informação do Risco Ambiental das Áreas de Mineração – Fuzzy Reclassificado.....	108
Figura 24 - Plano de Informação do Risco Ambiental das Áreas de Solo Exposto – Fuzzy Reclassificado.....	109
Figura 25 - Plano de Informação do Risco Ambiental das Áreas Rurais – Fuzzy Reclassificado.	110
Figura 26 - Plano de Informação do Risco Ambiental das Áreas Urbanas – Fuzzy Reclassificado.	111
Figura 27 - Plano de Informação da Drenagem da Bacia do Rio Verde com <i>Buffer</i> de 30m.	113
Figura 28 - Plano de Informação da Classificação Cruzada Risco Ambiental das Áreas Industriais <i>Buffer</i> 30 Metros da Drenagem.....	114
Figura 29 - Ampliação da Figura 30.	114
Figura 30 - Plano de Informação da Classificação Cruzada Risco Ambiental das Áreas Mineração <i>Buffer</i> 30 Metros da Drenagem.	115
Figura 31- Plano de Informação da Classificação Cruzada Risco Ambiental das Áreas Solo Exposto <i>Buffer</i> 30 Metros da Drenagem.....	115
Figura 32 - Plano de Informação da Classificação Cruzada Risco Ambiental das Áreas Rurais <i>Buffer</i> 30 Metros da Drenagem.....	116
Figura 33 - Plano de Informação da Classificação Cruzada Risco Ambiental das Áreas Urbanas <i>Buffer</i> 30 Metros da Drenagem.	116
Figura 34 - Plano de Informação do Risco de Contaminação a Drenagem pelo Fator Áreas Industriais.....	117
Figura 35 - Plano de Informação do Risco de Contaminação a Drenagem Pelo Fator Áreas de Mineração.	118
Figura 36 - Plano de Informação do Risco de Contaminação a Drenagem pelo Fator Áreas de Solo Exposto.....	119
Figura 37 - Plano de Informação do Risco de Contaminação a Drenagem pelo Fator Áreas Rurais.....	120
Figura 38 - Plano de Informação do Risco de Contaminação a Drenagem pelo Fator Áreas Urbanas.	121
Figura 39 - Plano de Informação dos Riscos de Contaminação as Drenagens Agregando-se os Cinco Fatores de Contaminação.....	122

Figura 40 - Mapa de Risco Ambiental a Drenagem Fluvial da Bacia do Rio Verde Através do Método Booleano.....	125
Figura 41 - DETERMINAÇÃO DOS PESOS DE IMPORTÂNCIA RELATIVA.....	128
Figura 42 - MÓDULO DE ANÁLISE POR MÚLTIPLOS CRITÉRIOS – MCE.....	129
Figura 43 - Plano de Informação da Análise por Critérios Múltiplos.....	131
Figura 44 - Plano de Informação da Análise por Critérios Múltiplos Reclassificado.....	133
Figura 45 - Plano de Informação da Tabulação Cruzada Entre os Planos de Informação Análise por Critérios Múltiplos Reclassificados e Buffer com 30 Metros das Drenagens.....	135
Figura 46 - Plano de Informação Reclassificação da Drenagem Fluvial – Processo Multicritério.....	136
Figura 47 - Mapa de Risco Ambiental na Drenagem Fluvial da Bacia do Rio Verde Através do Método Multicritério.....	137
Figura 48 - Imagem Spot da Bacia do Rio Verde – PR.....	140
Figura 49 - <i>foto 01, localização ponto A</i>	141
Figura 50 - <i>foto 02, localização ponto B</i>	142
Figura 51 - <i>foto 03, localização ponto B</i>	143
Figura 52 - <i>foto 04, localização ponto C</i>	144
Figura 53 - <i>foto 05, localização ponto C</i>	144
Figura 54 - <i>foto 06, localização ponto C</i>	145
Figura 55 - <i>foto 07, localização ponto D</i>	146
Figura 56 - <i>foto 08, localização ponto D</i>	147
Figura 57 - <i>foto 09, localização ponto E</i>	148
Figura 58 - <i>foto 10, localização ponto E</i>	148
Figura 59 - <i>foto 11, localização ponto F</i>	149
Figura 60 - <i>foto 12, localização ponto F</i>	150
Figura 61 - <i>foto 13, localização ponto G</i>	151
Figura 62 - <i>foto 14, localização ponto H</i>	152
Figura 63 - <i>foto 15, localização ponto I</i>	153
Figura 64 - <i>foto 16, localização ponto I</i>	154
Figura 65 - <i>foto 17, localização ponto J</i>	155
Figura 66 - <i>foto 18, localização ponto K</i>	157
Figura 67 - <i>foto 19, localização ponto K</i>	157

Figura 68 - foto 20, localização ponto L	158
Figura 69 - foto 21, localização ponto L	159
Figura 70 - foto 22, localização ponto M	160
Figura 71 - foto 23, localização ponto M	161
Figura 72 - foto 24, localização ponto N.....	162
Figura 73 - foto 25, localização ponto N.....	163

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - PROCESSOS DE DIFUSÃO, TRANSPORTE E ACÚMULO DE MATERIAIS POLUENTES	28
Quadro 2 - MUDANÇAS AMBIENTAIS MAIS COMUNS OCASIONADAS PELA ATIVIDADE AGRÍCOLA.....	31
Quadro 3 - ÁREA POR MUNICÍPIO.....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - USO E COBERTURA VEGETAL NA BACIA DO RIO VERDE.	79
Tabela 2 - ÁREAS INDUSTRIAIS NA BACIA DO RIO VERDE.....	82
Tabela 3 - ÁREAS DE MINERAÇÃO NA BACIA DO RIO VERDE.....	84
Tabela 4 - ÁREAS DE SOLO EXPOSTO NA BACIA DO RIO VERDE	86
Tabela 5 - ÁREAS RURAIS NA BACIA DO RIO VERDE.....	88
Tabela 6 - ÁREAS URBANAS NA BACIA DO RIO VERDE	90
Tabela 7 - ÁREAS DE INFLUÊNCIA DOS FATORES DE RISCO	97
Tabela 8- RECLASSIFICAÇÃO DAS CLASSES DE RISCO DE CONTAMINAÇÃO AS DRENAGENS AGREGANDO-SE OS CINCO FATORES DE CONTAMINACAO	124
Tabela 9 - RISCO AMBIENTAL A DRENAGEM FLUVIAL DA BACIA DO RIO VERDE ATRAVÉS DO MÉTODO BOOLEANO	126
Tabela 10 - PESOS DOS FATORES DE RISCO	128
Tabela 11 - ÁREAS DE RISCO NA BACIA DO RIO VERDE ATRAVÉS DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO.	134
Tabela 12- RISCO AMBIENTAL NA DRENAGEM FLUVIAL DA BACIA DO RIO VERDE ATRAVÉS DO MÉTODO MULTICRITÉRIO.	138
Tabela 13 LOCALIZAÇÃO UTM DOS PONTOS NA BACIA DO RIO VERDE.	139

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA	ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL
COMEC	COORDENAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA
CONAMA	CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE
EMBRAPA	EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA
IBAMA	INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
IBGE	INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
MCE	AVALIAÇÃO POR CRITÉRIOS MÚLTIPLOS (<i>MULTI CRITÉRIA EVALUATION</i>)
MINEROPAR	MINERAIS DO PARANÁ S.A.
ONU	ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS
PETROBRAS	PETRÓLEO BRASILEIRO S.A.
PNUMA	PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE
RMC	REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA
SIG	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.2 JUSTIFICATIVA	19
1.3 OBJETIVO GERAL	21
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
2 REFERENCIAL TEÓRICO	23
2.1 A CONSCIÊNCIA AMBIENTAL.....	23
2.2 DEGRADAÇÃO AMBIENTAL.....	27
2.3 SUSTENTABILIDADE	32
2.4 RISCO AMBIENTAL.....	33
2.5 UTILIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL	38
2.5.1 Equilíbrio Dinâmico e Ambiental em Bacias Hidrográficas	39
2.6 Teoria Geral dos Sistemas e Análise Sistêmica.....	41
2.7 FATORES DE RISCO AMBIENTAL A BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	47
2.7.1 Indústrias.....	47
2.7.2 Mineração.....	48
2.7.3 Solo Exposto	48
2.7.4 Áreas Rurais.....	49
2.7.5 Áreas Urbanas	51
2.8 USO SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NA ANÁLISE AMBIENTAL.....	52
2.8.1. Lógica Booleana.....	54
2.8.2 Lógica Fuzzy	56
2.8.2.1 Análise multicritério	59
3 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	62
3.1 LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO RIO VERDE.....	62
3.2 ASPECTOS DO MEIO FÍSICO	64
3.2.1 Geologia	64
3.2.2 Clima	65
3.2.3 Geomorfologia	66
3.2.4 Solos	67

3.2.5 Vegetação	68
3.3 ASPECTOS SOCIO-ECONÔMICOS	69
3.4 APA RIO VERDE – PR: DECRETO ESTADUAL Nº 2.375, DE 28 DE JULHO DE 2000	71
4 MATERIAL E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	73
4.1 MATERIAL	73
4.1.1 Material Cartográfico	73
4.1.2 Softwares e Equipamentos.....	73
4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	74
4.2.1 Geração da Base de Dados	74
4.3 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DAS VARIÁVEIS DE RISCO AMBIENTAL.....	77
4.3.1 Plano de Informação das Áreas Industriais na Bacia do Rio Verde	80
4.3.2 Plano de Informação das Áreas de Mineração na Bacia do Rio Verde.....	82
4.3.3 Plano de Informação das Áreas de Solo Exposto na Bacia do Rio Verde	84
4.3.4 Plano de Informação das Áreas Rurais na Bacia do Rio Verde	86
4.3.5 Plano de Informação das Áreas Urbanas na Bacia do Rio Verde	88
5 DETERMINAÇÃO DA ABRANGÊNCIA DAS ÁREAS DE RISCO A DRENAGEM FLUVIAL NA BACIA DO RIO VERDE.....	91
5.1 Plano de Informação <i>Distance</i> das Áreas Industriais	91
5.2 Plano de Informação <i>Distance</i> das Áreas de Mineração.....	92
5.3 Plano de Informação <i>Distance</i> das Áreas de Solo Exposto	93
5.4 Plano de Informação <i>Distance</i> das Áreas Rurais	94
5.5 Plano de Informação <i>Distance</i> das Áreas Urbanas.....	95
5.6 PADRONIZAÇÃO <i>FUZZY</i>	98
5.6.1 Plano de Informação da Padronização Pelo Método <i>Fuzzy</i> das Áreas Industriais.....	99
5.6.2 Plano de Informação da Padronização Pelo Método <i>Fuzzy</i> das Áreas de Mineração.....	100
5.6.3 Plano de Informação da Padronização Pelo Método <i>Fuzzy</i> das Áreas de Solo Exposto	101
5.6.4 Plano de Informação da Padronização Pelo Método <i>Fuzzy</i> das Áreas Rurais	102
5.6.5 Plano de Informação da Padronização Pelo Método <i>Fuzzy</i> das Áreas Urbanas	104

5.7	Reclassificações dos planos de informação Fuzzy	105
5.8	ANÁLISE BOOLEANA.....	111
5.8.1	Agregação dos Fatores de Risco	121
5.9	ANÁLISES ATRAVÉS DOS PESOS DE IMPORTÂNCIA RELATIVA.....	126
5.9.1	Combinação Linear Ponderada.....	129
5.10	VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DE ANÁLISE EM CAMPO.....	138
5.10.1	Descrição Ambiental e Validação em Campo das Análises de Risco a Drenagem na Bacia do Rio Verde.....	140
6	CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	164
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	170

1 INTRODUÇÃO

Estudar, analisar e mensurar os riscos ambientais é necessário sempre que se promovam adaptações, ou modificações ao ambiente natural, pois o homem busca adequá-lo às necessidades individuais ou coletivas, porém neste processo acaba gerando ambientes modificados com as mais diversas variedades de conformação e escala.

Desta forma o homem é o grande agente transformador do ambiente natural promovendo adaptações nas mais variadas localizações climáticas, geográficas e topográficas. Criando ambientes urbanos resultantes de aglomerações localizadas em ambientes naturais transformados, que para sobrevivência e desenvolvimento da humanidade necessitam de recursos do ambiente natural, ocasionando riscos a esta mesma natureza. (PHILIPPI JR. 2004, p. 3).

Portanto é a maneira de gerir e utilizar os recursos naturais que pode acentuar ou minimizar os impactos, esse processo de gestão fundamenta-se em três variáveis: a diversidade dos recursos extraídos do ambiente natural, a velocidade de extração desses recursos, que permite ou não sua reposição, e a forma de disposição e tratamento de seus resíduos e efluentes. A somatória dessas três variáveis e a maneira de geri-las define o grau de impacto do ambiente urbano sobre o ambiente natural. (PHILIPPI JR. 2004, p. 8)

Observando tais citações se observa a necessidade premente de se elaborar estudos e levantamentos que venham ao encontro dos anseios das atuais sociedades para uma postura mais conservacionista e sustentável do meio ambiente.

Desta forma para estudo de caso selecionou-se a Bacia do Rio Verde, localizada a oeste da Região Metropolitana de Curitiba, que recobre parte dos municípios de Araucária, Campo Largo, Campo Magro e Balsa Nova e serve de fonte de abastecimento de água para a refinaria Getúlio Vargas da Petrobras em Araucária, para a cidade de Curitiba e as localidades rurais e urbanas inseridas na bacia.

A análise da bacia do Rio Verde teve como objetivo geral determinar as áreas de risco ambiental à drenagem fluvial, através da utilização de um sistema de

informação geográfica. Para tal procedimento foram identificadas e classificadas, cinco variáveis em relação ao uso do solo na bacia: Áreas Industriais, Áreas de Mineração, Áreas de Solo Exposto, Áreas Rurais e Áreas Urbanas. Estas áreas foram selecionadas devido ao seu potencial de risco e possíveis impactos ambientais que possam causar a bacia do Rio Verde.

O trabalho foi executado apoiando-se em duas metodologias distintas, a Booleana e a Fuzzy, ambas buscando classificar da melhor maneira possível as áreas de risco ambiental a drenagem fluvial na bacia do Rio Verde, e contrapô-las através de validação em campo dos resultados para assim determinar qual método de análise é o mais indicado para tal análise de risco ambiental.

Esta pesquisa está dividida em 06 capítulos:

- Introdução faz referência à problemática e a proposta do trabalho, ao método empregado para a obtenção dos resultados, e destaca o objetivo geral. Justificativa, remete a importância da elaboração de estudos como esse para a ciência e a comunidade local. O Objetivo geral e específico: apresentam, de forma direta, o objetivo principal e os específicos da pesquisa.
- Referencial Teórico, este capítulo fundamenta teoricamente a pesquisa, trabalhando com conceitos-chaves em estudo sobre meio ambiente através de considerações de autores que produziram estudos relacionados ao tema, permitindo melhor compreensão das principais questões epistemológicas ligadas a esse trabalho. Nesse capítulo são abordados temas como: a consciência ambiental, degradação ambiental, sustentabilidade, risco ambiental, utilização da bacia hidrográfica como unidade de planejamento ambiental, equilíbrio dinâmico e ambiental em bacias hidrográficas, teoria geral dos sistemas e análise sistêmica, fatores de risco ambiental (áreas industriais, de mineração, com solo exposto, áreas rurais e áreas urbanas), uso sistemas de informações geográficas na análise ambiental, lógica Booleana, lógica Fuzzy e análise multicritério.
- Caracterização da área de pesquisa, apresenta os aspectos físicos como localização da bacia do Rio Verde, geologia, clima, geomorfologia, solos, vegetação, aspectos socioeconômicos e legais como a criação da APA

do Rio Verde – PR, através do decreto estadual nº 2.375, de 28 julho de 2000

- Material e Procedimentos Metodológicos, descreve o material cartográfico utilizado os softwares e equipamentos que serviram de apoio no desenvolvimento das análises, o procedimento metodológico adotado, a geração da base de dados, e uma breve análise das variáveis de risco ambiental.
- Determinação da Abrangência das Áreas de Risco a Drenagem Fluvial na Bacia do Rio Verde, neste capítulo se observa a padronização fuzzy dos dados em relação aos fatores de risco e a drenagem, o desenvolvimento das análises booleana e de pesos de importância relativa, finalizando com a validação dos resultados obtidos através de análise em campo.
- Conclusão e Considerações Finais, neste capítulo se desenvolvem avaliações referentes ao resultado obtido nos planos de informação de risco ambiental, nas duas propostas (booleana e Fuzzy) aos resultados verificados em campo.

1.2 JUSTIFICATIVA

Durante o século XX, várias questões de cunho ambiental surgem sobre o processo de adaptação do ambiente natural, uma destas é a escala das aglomerações e sua concentração populacional próximas aos corpos d'água e suas bacias hidrográficas, pois quanto maior for essa escala, maiores serão as adaptações e transformações do ambiente natural, maiores serão a diversidade e a velocidade de recursos extraídos, maiores serão a quantidade e a diversidade de resíduos gerados e menor será a velocidade de reposição desses recursos ou recuperação destas áreas degradadas. (PHILIPPI 2004, p. 4)

Tais processos de degradação ambiental segundo SANTOS (1978, p. 45) intensificam-se com a revolução técnico-científica-informacional, que a humanidade adquiriu através da técnica, que possibilitou adaptar ou mesmo modificar o espaço

para perpetuar a reprodução do capital, gerando passivos de cunho social e ambiental, ligados de forma intrínseca a interesses econômicos.

Desta forma países emergentes como o Brasil vêm seus grandes centros urbanos obrigados em algumas situações a abdicar da qualidade e preservação ambientais, principalmente no que tange a suas bacias hidrográficas em busca do desenvolvimento econômico, que pelos interesses do capitalismo e seus métodos predatórios de produção, leva a sociedade a situações de insalubridade e risco ambiental.

Risco, que segundo Sánchez (2008, p. 319), é o potencial da realização de conseqüências adversas indesejadas para a, vida humana, o ambiente e os bens materiais.

Desta forma Almeida (1986, p. 75), afirma que, o equilíbrio ambiental de uma bacia hidrográfica depende diretamente da relação entre o homem e o meio ambiente desta. Pois o ambiente de tal bacia se define como um sistema complexo, constituído por componentes abióticos e bióticos que necessitam estar em harmonia nas suas inter-relações para manter seu equilíbrio dinâmico, que no passado geológico só era interrompido por grandes alterações tectônicas ou climáticas, e agora sofre rapidamente as mudanças impostas pelo homem.

Desta forma cabe aos atuais pesquisadores e gestores compreender e delimitar tais desequilíbrios ambientais analisando as bacias hidrográficas, como a do Rio Verde buscando, equilíbrio ambiental e a forma mais correta de uso das bacias.

Portanto prever, localizar e mensurar locais com risco ambiental é importante para se manter a qualidade e sustentabilidade dos recursos naturais. Porém, trata-se de árdua tarefa, devido ao grande número de informações, análises e levantamentos que devem ser executados, tornando obrigatório lançar mão da pesquisa multidisciplinar para se obter resultados mais específicos e confiáveis sobre a prevenção e o manejo dos riscos ambientais, principalmente em casos que envolvam estudos de risco em bacias hidrográficas. (CHRISTOFOLETTI, 1997, p. 132)

Desta forma Christofolletti (1997, p. 132), afirma que, as bacias e os mananciais que abastecem as cidades devam ser estudados e protegidos, pois os “efeitos e transformações provocadas pelas ações humanas no meio ambiente físico se refletem, por interação, nas condições ambientais que envolvem a vida humana”,

o aumento da população e da ação antrópica podem tornar irreversíveis os processos de degradação ao meio ambiente e ao sistema de abastecimento das cidades.

Franco (2001, p. 5) afirma que, é neste cenário de busca por proteção às bacias hidrográficas, que observando a qualidade e a fonte, se deva empregar como instrumento para avaliação de risco ambiental todas as informações disponíveis sobre a área de estudo, mesmo que estas advenham das mais diversas áreas do conhecimento. Levando em conta não apenas as potencialidades da área, mas principalmente suas restrições, tanto nos aspectos naturais e também legislativos.

1.3 OBJETIVO GERAL

Objetivo geral determinar as áreas de risco ambiental à drenagem fluvial, através da utilização de um sistema de informação geográfica, apoiado nas metodologias Booleana e Fuzzy.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter e registrar informações relacionadas à área de estudo através de levantamento bibliográfico e consultas a órgãos especializados e entidades;
- Através de uso de SIG obter e classificar pelo uso do solo os fatores (áreas industriais, áreas de mineração, áreas com solo exposto, áreas rurais e áreas urbanas) de risco ambiental na bacia do Rio Verde;
- Contrapor os métodos de análise booleano e fuzzy com critério múltiplos nas análises de risco ambiental a drenagem;

- Analisar através de cada fator de risco sua abrangência dentro da bacia e a intensidade do risco ambiental a drenagem fluvial na bacia do Rio Verde;
- Agregar os cinco fatores de risco ambiental através da metodologia booleana para obtenção do Mapa de risco ambiental na bacia do Rio Verde;
- Agregar através da lógica Fuzzy os cinco fatores de risco ambiental utilizando o procedimento multicritério atribuindo pesos diferentes para cada fator de risco para obter o mapa de risco ambiental na bacia do Rio Verde;
- Agregar o plano de informação da drenagem fluvial com um buffer de 30m ao mapa obtido na metodologia booleana para obter o risco a drenagem fluvial na bacia do Rio Verde, pelo método booleano;
- Agregar o plano de informação da drenagem fluvial com um buffer de 30m ao mapa obtido na metodologia Fuzzy com múltiplos critérios para obter o risco a drenagem fluvial na bacia do Rio Verde pelo método Fuzzy;
- Contrapor o resultado das análises booleana e fuzzy através de ida a campo para constatação de qual metodologia obteve melhores resultados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A CONSCIÊNCIA AMBIENTAL

O conceito “Meio ambiente” é amplo, multifacetado e maleável. Amplo por incluir a natureza e a sociedade. Multifacetado porque pode ser concebido sob diferentes perspectivas e maleável porque, ao ser amplo e multifacetado, pode ser reduzido ou ampliado de acordo com necessidades do cientista ou interesses envolvidos. (SÁNCHEZ, 2008, p. 18).

Desta forma o meio ambiente é a base onde a sociedade extrai os recursos essenciais à sobrevivência demandados pelos processos de desenvolvimento sócio-econômico. Esses recursos são geralmente denominados naturais. E também como o meio de vida das sociedades. (SÁNCHEZ 2008, p. 21)

Portanto é nítido que o conceito de meio ambiente oscile entre dois pólos, um fornecedor de recursos, e outro como meio de vida, duas faces de uma só realidade.

Assim o ambiente não pode apenas ser definido somente como um meio a defender, a proteger ou mesmo a preservar, mas também como potencial fornecedor de recursos que permite renovar as formas materiais e sociais de desenvolvimento. (SILVA, 2006, p. 112).

De acordo com Sánchez *et al.* referindo-se ao trabalho de Theys, que examinou várias classificações, tipologias e definições de meio ambiente, determinou que há duas classificações possíveis para meio ambiente:

Objetiva: o ambiente é assimilado à idéia de natureza e pode ser descrito como: uma coleção de objetos naturais em diferentes escalas (do pontual ao global) e níveis de organização (do organismo a biosfera), e as relações entre eles (ciclos, fluxos, redes, cadeias tróficas). Tal concepção pode ser vista como biocêntrica, uma vez que nenhuma espécie tem mais importância que outra, e a própria sociedade, em certa medida, pode ser analisada a luz destes conceitos, como o fazem disciplinas como a ecologia humana.

Subjetiva: encara o ambiente como um “sistema de relações entre o homem e o meio, entre ‘sujeitos’ e ‘objetos’” (Theys, 1993, p.22). Essas relações

entre os sujeitos (indivíduos, grupos, sociedades) e os objetos (fauna, flora, água, ar, etc.) que constituem o ambiente, implicam necessariamente relações entre estes sujeitos, a respeito das regras de apropriação dos objetos do ambiente, transformando-os em objetos de conflitos, e o próprio ambiente em um campo de conflitos. (SANCHEZ, 2008, p.22)

Para Troppmair (1994, p. 6) o antropocentrismo no meio ambiente, é de fundamental importância para compreendê-lo, definindo-o como sendo o “complexo de elementos e fatores químicos e biológicos que interagem entre si com reflexos recíprocos afetando, de forma direta e visível, os seres vivos, incluindo o homem e suas sociedades”.

Finalmente para a Legislação Brasileira, meio ambiente seria o “o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem, física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas suas formas” (lei federal nº 6.398, de 31 de agosto de 1981. Art 3º. I). (SÁNCHEZ, 2008, p. 19).

Desta forma o ambiente como o fornecedor dos recursos básicos para a humanidade, sofre processos de degradação em seu complexo sistema de relações homem/meio ambiente, e partindo deste pressuposto Monteiro (1981, p. 52) afirma que se deve valorizar a dimensão dos problemas ambientais vivenciados atualmente como o resultado do modelo de comportamento de uma sociedade de consumo, e salienta que o aumento e ritmo de produtividade nessa sociedade é sem dúvida a principal causa dos problemas ambientais, pois ao mesmo tempo em que o homem afeta direta ou indiretamente o meio ambiente com suas atividades e intervenções ele também é afetado

Esta problemática sobre o meio ambiente e a utilização de seus recursos de maneira racional e sustentável não é recente as sociedades modernas, pois os problemas relativos ao meio ambiente já eram motivo de preocupação desde o século XIX, quando se introduziu na política do desenvolvimento agrícola o modelo de conservação (SILVA 2006, p. 123).

Porém foi somente a partir do início dos anos 70, quase dois séculos após a revolução industrial que a sociedade capitalista se viu a frente do grave problema de uma possível crise ambiental, o que a aproximou, de acordo com Franco (2001, p.158) da “insustentabilidade do desenvolvimento planetário pelos caminhos percorridos pelos países desenvolvidos”.

Constatada esta séria problemática surgiram vários movimentos na busca da preservação dos recursos naturais, onde em alguns segmentos da sociedade, observou-se o desenvolvimento de novos conceitos ambientais e a revisão de algumas atitudes do pensar econômico (FARENZA 2002, p. 2).

Segundo Silva (2006, p. 124) em 1968;

Um grupo formado por empresários e intelectuais, que não eram militantes ecologistas se reuniram na cidade de Roma, na Itália, com o objetivo de identificar os problemas globais levando a discussão sobre preservação dos recursos naturais do planeta. Como resultado surgiu, em 1972 o primeiro relatório para o Clube de Roma “Limites para o crescimento”. O relatório produziu os primeiros estudos científicos, a respeito da preservação ambiental, identificando grandes problemas a serem solucionados para a manutenção da sustentabilidade, como o controle do crescimento populacional, controle de crescimento industrial, insuficiência de produção de alimentos e o esgotamento dos recursos naturais. (SILVA 2006, p. 124)

O impacto causado pelo relatório do Clube de Roma impulsionou as discussões ambientais dentro dos segmentos governamentais e políticos, atingindo seu ponto alto na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, ou Conferência de Estocolmo, realizada em 1972 na Suécia.

A Conferência Mundial sobre meio-ambiente pode ser tomada como um referencial para apontar-se na História “o momento da eclosão da questão ambiental”, e veio para confirmar que a degradação ambiental tem causas e conseqüências duríssimas para as sociedades. (CUNHA; GUERRA, 1996, p. 334).

Nesta conferência discutiram-se questões sobre a poluição industrial, exploração dos recursos naturais, deterioração das condições ambientais, problemas sanitários, déficit de nutrição e aumento da mortalidade, como sendo estes um reflexo da degradação ambiental observada tanto em países desenvolvidos como nos menos abastados.

Silva (2006, p. 125) afirma que a conferência focou o ambiente humano e constituiu a Declaração de Estocolmo, que tem por princípio básico garantir a atual, e próximas gerações o direito “fundamental da vida em um ambiente sadio e não degradado”. Elaborou-se também um plano de ação que convoca todos os países, organismos das Nações Unidas, bem como todas as organizações internacionais a cooperarem na busca de soluções para uma série de problemas ambientais.

Ainda como resultado da Conferência de Estocolmo, se criou um organismo denominado Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA).

Segundo Cunha; Guerra, (1996, p. 340); Franco (2001, p. 158), Esta conferência foi marcada por discussões acaloradas sobre meio ambiente versus desenvolvimento. E durante este primeiro momento de reflexão mundial, se evidenciou o contraste entre as necessidades dos países “ricos e pobres”, ou seja, entre defensores do “desenvolvimento zero”, basicamente representado pelos países industrializados, e defensores do desenvolvimento a “qualquer custo” representado pelos países não industrializados. (MOURA, 2004, p. 130).

Diante de tal impasse, se torna necessário abandonar a visão de meio ambiente puramente naturalista, onde o homem encontra-se a margem deste, e se procurou avançar, com análises ambientais inserindo de forma definitiva o homem no cerne das questões ambientais. Com este intuito se organizaram outros encontros mundiais como a Rio 92, que ficou conhecida como a conferência da Terra. Onde os objetivos principais eram conseguir um equilíbrio justo entre as necessidades econômicas, sociais e ambientais das gerações presentes e futuras e formar base para uma associação mundial entre países desenvolvidos e em desenvolvimento, comprometendo governos e sociedade a engajarem-se numa conscientização e compreensão das necessidades comuns. (SILVA, 2006, p. 126)

A Conferência do Rio de Janeiro ou ECO-92 como também ficou conhecida, aprovou o documento denominado Agenda 21, que busca o desenvolvimento sustentável combinando as aspirações compartilhadas por todos os países ao progresso econômico e material com necessidade de uma consciência ecológica. (SILVA 2006, p. 126)

Porém mesmo após a ECO-92 e a assinatura do protocolo de Kyoto em 1997 que constituiu um tratado internacional com compromissos mais rígidos para a redução da emissão dos gases que agravam o efeito estufa, considerados, de acordo com a maioria das investigações científicas, como causa antropogênicas do aquecimento global. A ONU organizou em 2002 a Rio + 10 em Johannesburgo, África do Sul, para proporcionar aos líderes mundiais, uma oportunidade histórica de um novo acordo para um mundo social-ambiental e economicamente sustentável. A meta geral da conferência foi revigorar o comportamento mundial para promover o desenvolvimento sustentável e a cooperação internacional (SILVA 2006, p. 127)

Atualmente é possível perceber que as propostas da Agenda 21 ainda são metas longe de serem alcançadas na esfera ambiental e têm se mostradas inócuas, no que se referem principalmente as questões sociais.

No entanto este documento continua sendo um alerta a humanidade que neste momento percebe que novos paradigmas ambientais, sociais e econômicos devem ser traçados, com a intenção de vislumbrar um futuro comum e menos desigual.

2.2 DEGRADAÇÃO AMBIENTAL

Johnson (1997 p. 583) afirma que degradação ambiental é um termo de conotação claramente negativa, e seu uso na “moderna literatura ambiental científica e de divulgação é quase sempre ligado a uma mudança artificial ou perturbação de causa humana, sendo geralmente uma redução percebida das condições naturais ou do estado de um ambiente”.

Sánchez (2008, p. 26) Corroborar com a definição acima citada, afirmando que a degradação dos objetos que integram o ambiente, é muitas vezes associada à idéia da perda de qualidade. Seria assim a perda ou deterioração da qualidade ambiental.

Desta forma o agente causador da degradação ambiental é sempre o ser humano, pois processos naturais não degradam ambientes, apenas causam mudanças (JOHNSON *et al.* 1997, p. 584). Assim a degradação ambiental causada pelo homem, além dos problemas de ordem ambientais, traz também causas e conseqüências sociais, pois afeta diretamente a qualidade de vida das pessoas com a diminuição da qualidade ambiental (CUNHA; GUERRA, 1996. p. 344).

No quadro 01 Sánchez (2008, p. 38), apresenta uma lista de cinco processos do meio físico que são alterados por atividades humanas, o geológico, hidrológico, hidrogeológico, atmosférico e ecológico, com seus respectivos processos de degradação ambiental.

Processos geológicos de superfície	Processos hidrológicos	Processos hidrogeológicos	Processos atmosféricos	Processos ecológicos
Erosão Movimentos de massa Afundamentos cársticos	Transportes de poluentes nas águas Eutrofização dos corpos d'água Acumulo de poluentes nos sedimentos Inundação Deposição de sedimentos em rios e lagos	Difusão de poluentes na água subterrânea Recarga de aquíferos	Transporte e difusão de poluentes gasosos Propagação de ondas elásticas	Biodegradação da matéria orgânica em corpos d'água bioacumulação de metais pesados Sucessão ecológica Ciclagem de nutrientes.

Quadro 1 - PROCESSOS DE DIFUSÃO, TRANSPORTE E ACÚMULO DE MATERIAIS POLUENTES

FONTE: Adaptado SÁNCHEZ (2008, p. 38)

Outra tese, que olha de maneira alternativa, mas parecida a esta questão é o possibilismo, onde o homem não é passivo, mas sim um agente geográfico, apto a agir sobre o meio e modificá-lo, dentro dos limites naturais de espaço e possibilidades de desenvolvimento tecnológico. O que leva a se constatar que em grande parte das sociedades, as inovações tecnológicas e o impacto ambiental mantêm um nexos entre si. (DREW, 1983, p. 4).

Desta forma as alterações que o homem venha impor ao meio ambiente são resultantes de fatores próximos aos mencionados por Drew (1983, p. 18), onde:

A natureza das mutações que o homem impõe a superfície da Terra está condicionada por vários fatores que operam em harmonia. Por exemplo, a abordagem geral do mundo físico está culturalmente determinada e, com toda e qualquer mudança cultural, surge uma nova abordagem. A luz deste quadro a capacidade do homem para modificar a natureza é limitada pelo nível da tecnologia e dos recursos econômicos de que dispõe. (DREW, 1983, p.18).

Finalmente temos a motivação para a mudança. Os motivos são vários, contando-se entre os mais importantes, bem-estar, segurança e lucro. As forças econômicas como a proximidade de mercado, ou o valor dos bens produzidos (petróleo em regiões remotas) podem assegurar o envio de recursos necessários para o desenvolvimento intensivo de uma área. Da mesma forma considerações de segurança podem receber tamanha prioridade que deixem em segundo plano as considerações econômicas e ambientais (bases militares em regiões árticas, desertas). À medida que a

sofisticação tecnológica e político - econômico aumentam cada vez mais e torna previsível o comportamento do homem em relação ao ambiente em termos dos fatores “naturais” (DREW, 1983, p.18).

Sánchez (2008, p. 29) apóia a idéia de ser intrínseco ao homem a “motivação para mudanças do natural”, pois o planeta Terra sofre alterações conforme a humanidade expande sem cessar suas atividades e interfere de modo crescente na natureza.

Assim a relação das sociedades contemporâneas com seu ambiente é medida pelo emprego das técnicas cada vez mais sofisticadas, a ponto de muitas vezes diluir a própria noção de ambiente como um elemento distante e insuperável.

Segundo Theys (1993, p. 30), a sociedade moderna não tem outra opção a não ser gerir o meio ambiente, ou seja, ordenar e reordenar constantemente a relação entre a sociedade e o mundo natural, e como não há e nem pode haver independência ou autonomia da cultura em relação à natureza, faz-se necessário entender melhor essa relação onde duas perspectivas são possíveis:

- 1 - tentar determinar as condições de produção do melhor ambiente possível para o ser humano, renovando sem cessar as formas de apropriação da natureza, ou;
- 2 - tentar determinar o que é suportável pela natureza, estabelecendo, portanto limites a ação da sociedade. THEYS (1993, p.30)

Partindo destes dois pressupostos, se observa que a natureza possui uma capacidade natural de suportar ou se recuperar de uma perturbação imposta por um agente externo (ação humana ou processo natural) denominada resiliência¹.

Esse conceito surgiu na Ecologia no início dos anos de 1970, partindo de analogias, com conceitos da física e da elasticidade. (WESTMAN, 1978. p. 705).

Portanto mudanças impostas ao meio ambiente possuem um limite, pois há um determinado ponto em que o meio não suporta mais tais mudanças impostas, sem que se verifique uma alteração no conjunto do sistema, alcançado este limiar, a mudança se torna irreversível. (DREW, 1983, p. 28).

¹ Em ecologia, resiliência, é a capacidade de um determinado ecossistema de retomar sua forma original após uma perturbação. Pode também ser definida como limite de resistência do ecossistema a uma mudança para que esta não se converta numa situação irreversível.

Desta forma entre os processos das sociedades modernas que mais perturbam, alteram e impactam a qualidade ambiental em quase todas as regiões do planeta está a agricultura, que muitas vezes necessita de ações mitigadoras e de controle ambiental devido ao intenso uso do solo que esta provoca.

O quadro 02 apresenta cinco esferas de mudanças ambientais (Biológica, Edafológica, Climática, Hidrológica e Topográfica) causadas pela atividade agrícola, e seus respectivos efeitos.

Esfera da mudança	Mudança imposta	Efeitos desejados	Efeitos indesejados	Possíveis efeitos
Biológica	Sementeira	Máxima produção de alimentos	Flora e faunas restritas, micro clima modificado	Estimulo a doenças específicas predadores, altera a estrutura do solo
	Colheita	Energia transferida ao homem	Reduz fertilidade do solo e biologia	
	Pastagem	Proteína animal, etc.	Altera flora e a fauna	?
	Criação seletiva/genética	Aumentar a produtividade	?	
	Uso de pesticidas	Destruir a fauna nociva	Produtos químicos podem entrar no solo e entrar na cadeia de alimentos	
	Uso de herbicidas	Tirar a flora indesejada		
Edafológica	Adição de fertilizantes	Entra energia – mais produção	Mudança química do solo	Poluição química do solo muda a estrutura do solo
	Lavoura	Facilitar semeadura/mudança da terra/	Altera estrutura do solo, taxa de infiltração, albedo	Erosão do solo, mudança climática
	Aduco com cal	Mudança de PH/nutriente menor	Altera a disponibilidade de outros produtos químicos	Alteração da química da água subterrânea e de escoamento

(Cont.)

Esfera da mudança	Mudança imposta	Efeitos desejados	Efeitos indesejados	Possíveis efeitos
Climática	Estufas	Controlar temperaturas e umidade	Controle quase total	Altera condições do solo
	Empalhar/geada vaporizada	Impedir geadas	Muda o micro clima	
	Faixas de abrigo	Diminuir a erosão	Altera o micro clima	
Hidrológica	Irrigação	Maior umidade do solo	Altera o nível de lixiviação e química do solo, vegetação, flora e fauna, escoamento e evaporação.	Micro clima de Oásis, salinização Cheia de rios Aumenta carga em solução
	Drenagem	Menor umidade do solo		
Topográfica	Terraceamento	Obstar erosão de encostas	Altera o movimento das massas Novos ecossistemas Processos geomorfológicos alterados	?
	Inundação	Culturas especiais (arroz)		
	Nivelamento	Uso econômico de máquinas		
	Recuperação	Nova terra		

Quadro 2 - MUDANÇAS AMBIENTAIS MAIS COMUNS OCASIONADAS PELA ATIVIDADE AGRÍCOLA.

Fonte: DREW (1983, p. 150).

Os efeitos da agricultura sobre o ambiente relacionam-se diretamente com a escala em que ela é empreendida, pois existem dois aspectos a considerar: primeiro a intensidade e o grau de alteração provocada ao solo e a vegetação preexistente, e segundo a área em que se deu a alteração. (DREW, 1983, p. 150).

Outros aspectos importantes a serem considerados são os fatores urbanos e industriais, que são áreas com extremo potencial de degradação ambiental, pois nas zonas urbanas/industriais os fluxos de energia e de massa estão concentrados, sendo a maior parte da energia importada para este sistema sobrecarregando-o. Com o emprego desta energia há uma reversão da mesma para um estado difuso e não concentrado, cuja expressão é calor e dejetos, acima do que a área estaria apta para suportar. (DREW, 1983, p. 177)

Nestas condições todos os aspectos do ambiente são alterados pela urbanização e a industrialização, inclusive relevo, uso da terra, vegetação, flora, fauna, hidrologia e clima, estando à intensidade das mudanças e da degradação ambiental diretamente ligadas à densidade da área edificada e a extensão da industrialização, principalmente da indústria extrativa e pesada. (DREW, 1983, p. 177)

Assim o gradiente de severidade da degradação ambiental no urbano se estende de fora para dentro iniciando-se no entorno rural através dos subúrbios, atingindo picos máximos no centro comercial, e núcleos industriais. Áreas urbanas horizontais com muitos espaços verdes costumam alterar menos os ambientes, que os centros industrializados, compactos e verticais. (DREW, 1983, 177).

2.3 SUSTENTABILIDADE

Desenvolvimento sustentável pode ser descrito como o processo político, participativo que integra a sustentabilidade econômica, ambiental, espacial, social e cultural, sejam elas coletivas ou individuais, tendo em vista o alcance e a manutenção da qualidade de vida, seja nos momentos de disponibilização dos recursos, seja nos períodos de escassez, tendo como perspectivas a cooperação e a solidariedade entre os povos e as gerações. (SILVA, 2006, p. 132)

No entanto sua aplicação não é fácil, já que as forças regeneradoras ou conservadoras dos recursos naturais são inibidas pela ação de forças freqüentemente mais potentes, de várias origens, com interesses econômicos em detrimento dos ambientais. (SÁNCHEZ, 2008, p. 40)

Portanto recursos naturais possuem uma capacidade de suporte e uma velocidade com que podem ser explorados sem se esgotar ou serem destruídos, esta capacidade é conhecida como sustentabilidade, que busca não aumentar as demandas dos recursos naturais indefinidamente, mas criar modelos que mantenham o desenvolvimento dentro dos limites da capacidade de suporte do ambiente. (SÁNCHEZ, 2008, p. 41)

Assim o uso sustentável dos recursos naturais não contraria os interesses econômicos ou do desenvolvimento, mas se constitui na forma de satisfazer as necessidades das populações atuais, sem comprometer os recursos necessários para as futuras gerações (MÜLLER, 2002, p. 26).

Portanto é de fundamental importância que critérios sejam estabelecidos para evitar ou diminuir os impactos negativos decorrentes das atividades antrópicas. Pois ao desmatar, plantar, ou construir, estas ações transformam o ambiente e intensificam a erosão, os deslizamentos, a cobertura vegetal, o regime hidrológico, pois com alterações ambientais estes processos tendem a ocorrer com muito mais intensidade e suas conseqüências sobre a sociedade pode provocar desastres, muitas vezes envolvendo prejuízos materiais e perda de vidas humanas (SÁNCHEZ, 2008, p. 41).

Uma saída proposta para estes problemas ambientais que certamente é consenso para a maioria dos cientistas é realizar uma educação ambiental, que seja um processo permanente, com base em preocupações ambientais e transformação de mentalidades, possibilitando a preservação dos valores naturais e culturais (SILVA, 2005, p 7).

Desta forma, é claro que educação ambiental, aliada a um forte processo de mudança no pensamento capitalista, pode possibilitar a preservação dos valores naturais e culturais (SILVA, 2005, p. 7).

2.4 RISCO AMBIENTAL

Segundo a *Society for Risk Analysis*², risco é o potencial de realização de conseqüências adversas indesejadas para a saúde, vida humana, ambiente ou bens materiais, de maneira mais formal risco seria o produto da probabilidade de ocorrência de um determinado evento pela magnitude das conseqüências. (SÁNCHEZ, 2008, p. 319)

² **Society for Risk Analysis**, 1313 Dolley Madison Blvd. Suite 402, McLean, VA 22101. (p) 703-790-1745, (fx) 703-790-2672 (e) <http://www.sra.org/>

Em estudos de risco ao meio ambiente, deve-se sempre considerar os fatores de risco que envolvam a interferência antrópica, pois mudanças ambientais causadas pelo homem, podem criar situações de perigo, ou seja, a possibilidade da materialização de algo indesejado ocorrer ao meio ambiente. (SÁNCHEZ, 2008, p. 319).

Desta forma, sabe-se que quanto maior a segurança ambiental de um empreendimento, tanto menores são os riscos associados a este, tornando-se óbvio a procura pela minimização dos riscos e aumento da segurança, e para que isso ocorra os riscos devem ser reconhecidos, avaliados e preferencialmente qualificados, para se trabalhar com uma prevenção do risco ambiental, onde sejam estabelecidos critérios rigorosos de segurança aliados ao monitoramento e avaliações periódicas, assim como implantar planos de mitigação efetivos, caso ocorra o acidente ambiental. (ROCHA, 2005, p. 113).

O processo de avaliação do risco ambiental se desenvolve correlato á avaliação de impacto ambiental, e é usualmente realizado em quatro etapas distintas: (CARPENTER, 1995; KATES, 1978)

1. Identificação dos perigos;
2. Análise das conseqüências e estimativas dos riscos;
3. Avaliação dos riscos;
4. Gerenciamento dos riscos.

Estas avaliações de risco ambiental devem ser uma atividade contínua que compreenda as atividades relacionadas à prevenção e mitigação, de impactos ambientais. (ROCHA, 2005, p. 113).

Desta forma as avaliações de risco ambiental podem e devem ser integradas a estudos maiores de impacto ambiental. (SÁNCHEZ, 2008, p. 320).

Em estudos de risco, inclusive os ambientais todos devem possuir níveis hierárquicos diferenciados cabendo ao empreendedor ou cientista adotá-los como possíveis de serem aceitos ou não. Desta forma Rocha (2005, p. 113) afirma que os níveis de risco ambiental podem ser divididos em:

- Baixíssimo risco ambiental: quando o empreendimento possui alta segurança.

- Risco ambiental tolerável: com restrições, e avaliações que obriga o empreendedor a usar mecanismo e barreiras para elevar o nível de segurança.
- Risco intolerável: quando o empreendimento não pode ser instalado.

Dentro destas formas de análises de risco ambiental, alguns fatores são fundamentais na avaliação, como a frequência de ocorrência por unidade de tempo, as medidas que devem ser tomadas em relação ao impacto de um acidente nas pessoas e no ambiente, a vulnerabilidade (que é o grau de fragilidade dos elementos de um ambiente ou comunidade) ao acidente, e por último a critério do pesquisador ou empreendedor a aceitabilidade ao risco, estabelecido após análises de níveis de risco que possam ser aceitos pelo ambiente ou pela sociedade. (SÁNCHEZ, 2008, p. 314).

Finalmente Sánchez (2008, p. 316), afirma que os riscos ambientais podem ser classificados em três tipos:

1. Tecnológicos
2. Naturais
3. Sociais

Os riscos tecnológicos são aqueles cuja origem está diretamente ligada à ação humana. Incluem-se nos riscos de acidentes tecnológicos, explosões, vazamentos, os riscos a saúde (humana ou dos ecossistemas) causada pela utilização ou liberação de substâncias químicas, de radiações ionizantes e de organismos geneticamente modificados. (SÁNCHEZ, 2008, p. 314).

Tais atividades são as que mais oferecem risco para o meio-ambiente, pois incluem atividades industriais, como transporte e armazenamento de produtos químicos, lançamento de poluentes, manipulação genética, dutos de transportes de gás, linhas de distribuição elétrica, depósitos de combustíveis, depósitos com resíduos patológicos, produção de gases, aumento da presença de bactérias na água de consumo humano. Essas e outras situações podem acarretar tanto danos materiais, como danos irreversíveis ao ecossistema ou a saúde do homem, e não raro ocorrem os três tipos de situações. (SÁNCHEZ, 2008, p. 317).

Os riscos naturais (figura 01) advêm da dinâmica natural do planeta, a ação do homem, pode agravá-los acelerando alguns poucos processos naturais. Como exemplo, pode-se citar o caso das inundações que são fenômenos naturais na maior parte do planeta, e sua intensidade e frequência são aumentadas devido às ações antrópicas, como desmatamento e impermeabilização do solo. (SÁNCHEZ, 2008, p. 315).

Porém para Sánchez (2008, p. 316) alguns riscos ambientais advêm simplesmente da dinâmica natural, pouco dependendo das ações antrópicas, como:

- Processos meteorológicos e climáticos incluindo os de temporalidade curta (como tornados, trombas D'água, granizo, raios, etc.) e os de temporalidade longa (como secas).
- Riscos associados aos processos e fenômenos hidrológicos como inundações cíclicas.
- Riscos geológicos, que podem ser subdivididos nos que tem origem nos processos endógenos, como sismos e atividade vulcânica, e nos de origem exógena, como escorregamentos, subsidências e processos erosivos e de assoreamento.
- Riscos biológicos relativo à atuação dos agentes vivos, como organismos patogênicos.
- Riscos siderais, ou seja, os que têm origem fora do planeta tais como quedas de meteoritos.

Por último, se observam os riscos sociais, que se agravam com o aumento do contingente populacional, Aumento da criminalidade, Insegurança da população local, Importação de doenças, Choque cultural, Conflitos sociais, Modificação na estrutura imobiliária local, Aumento da demanda de imóveis, etc. (SÁNCHEZ, 2008, p. 316).

FLUXOGRAMA DE RISCOS AMBIENTAIS E CLASSES.

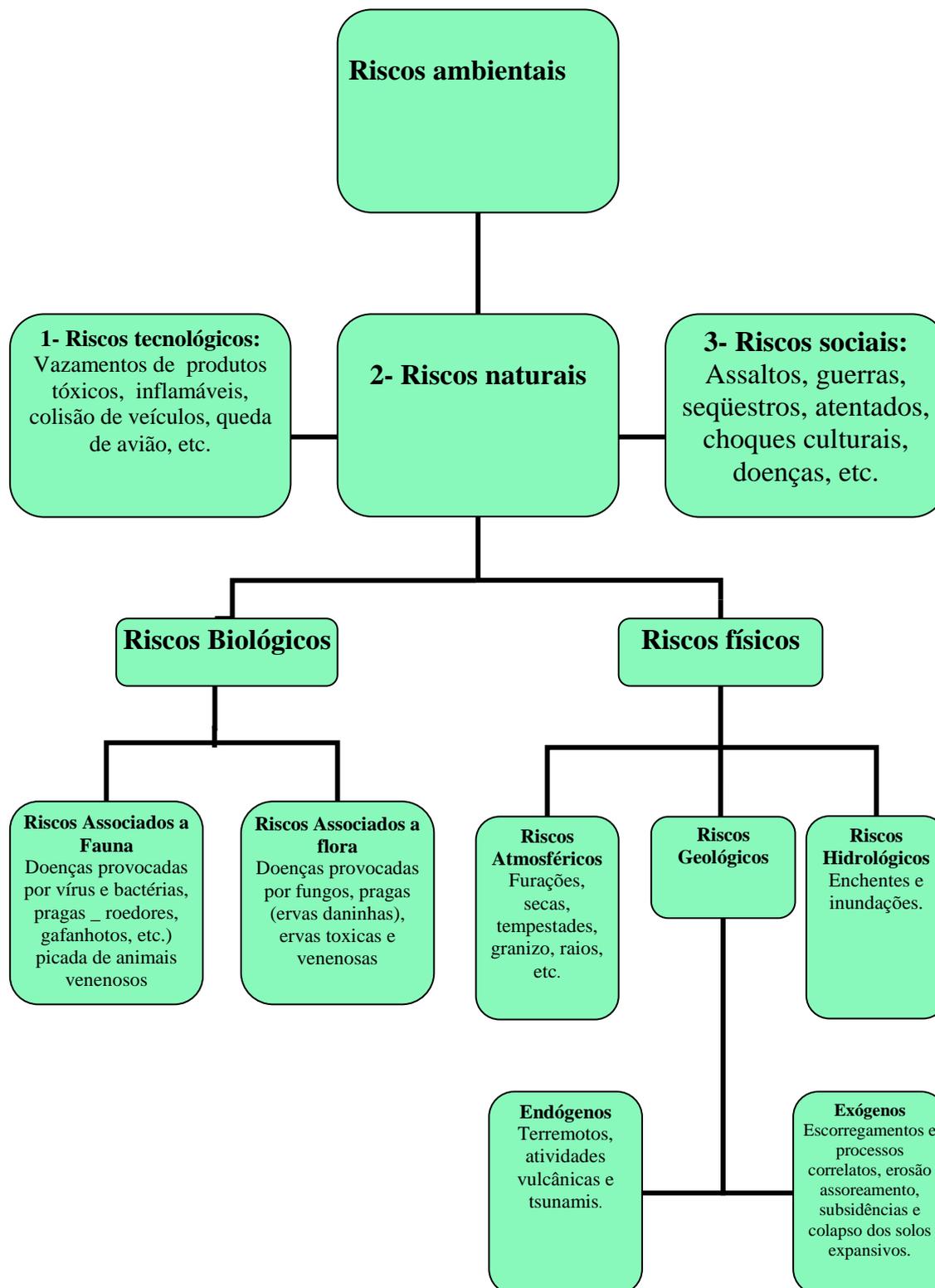


Figura 1– Fluxograma de Risco Ambiental e Classes
 FONTE: Adaptado de SÁNCHEZ (2008)

2.5 UTILIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL

Historicamente agrupamentos humanos, se localizam próximos aos cursos de água, que oferecem infra-estrutura para o cultivo, criação de animais e consumo humano.

O aumento destas populações no entorno dos corpos d'água, durante a evolução das sociedades ocasionou graves processos de degradação ambiental, impondo às modernas sociedades a necessidade de criar mecanismos de proteção não só das áreas no entorno dos corpos aquáticos, mas também desses para que a água, um bem essencial não falte.

Segundo Christofolletti (1979, p. 61), o avanço exagerado das populações sobre as bacias hidrográficas é uma tendência observada principalmente nas regiões metropolitanas, gerando problemas de escassez hídrica, riscos e impactos ambientais, pois os centros urbanos funcionam como sistemas abertos, que mantêm relações com outros sistemas, ocasionando nas cidades intensa entrada de matéria e energia, entretanto as mesmas não possuem sistemas de auto-regularização tornando o sistema muito instável, não podendo este ser considerado como ecossistema e sim, um sistema urbano.

Desta forma a análise de uma bacia hidrográfica deve envolver aspectos que permeiem campos de estudos da área física e humana, onde se devem verificar as alterações no meio, efetuadas pela ação antrópica. (CHRISTOFOLETTI, 1979, p. 61)

Assim bacias hidrográficas são um componente largamente utilizado para localizar espacialmente levantamentos ambientais, e segundo Strahler (1952, p. 27), são definidas como, a área de captação de escoamento superficial que alimenta um curso de água, separada de outras bacias; através dos divisores de água, situados nas partes mais elevadas do terreno.

Santos (2004, p. 36), recomenda a utilização da bacia hidrográfica como a unidade de planejamento, pois esta constitui um sistema natural bem delimitado no espaço, composto por um conjunto de terras topograficamente drenadas por um

curso de água e seus afluentes onde as interações, pelo menos físicas são integradas, e assim mais facilmente interpretadas, em um sistema input /output.

Santos (2004, p. 36), afirma que a bacia é uma unidade geográfica, onde os recursos naturais se integram, sendo o limite nítido para ordenação territorial, considerando-se que qualquer área da Terra, por menor que seja se integra a uma bacia hidrográfica, onde as soluções de problemas ambientais devem estar estritamente ligadas ao seu manejo.

Contudo Santos (2004, p. 37), alerta que os atuais estudos devem observar que a unidade bacia hidrográfica, não contém em seus limites todas as relações que se impõe diante das necessidades e dos anseios dos grupos sociais, e que, as interações espaciais representadas pelo fluxo de bens e serviços, devem ser consideradas para que a rigidez da limitação natural da bacia hidrográfica não atrapalhe a análise ambiental, demonstrando a diversidade existente e, portanto, estes paradoxos conduzem a uma conclusão: o espaço de trabalho é diverso e o planejamento ambiental em bacias hidrográficas deve flexibilizar seus limites, de forma a considerar as inter-relações nos seus diversos níveis, facilitando assim, definir a área de estudo caso a caso, em função de suas características e objetivos pretendidos. (SANTOS, 2004, p. 38)

2.5.1 Equilíbrio Dinâmico e Ambiental em Bacias Hidrográficas

Durante a segunda metade do Século XX a humanidade constata que o homem, é capaz de promover desequilíbrios ambientais, em breve espaço de tempo. Aliado a isto, soma-se o comportamento da civilização ocidental, com padrões de consumo e valores, que mantidos pelo desenvolvimento tecnológico seriam os responsáveis pela crise ambiental causada, utilizando de maneira indiscriminada os recursos naturais.

Desta forma Almeida (1986, p. 75), afirma que, o equilíbrio dinâmico e ambiental de uma bacia depende diretamente da relação entre o homem e o meio ambiente desta bacia. Pois o meio ambiente de uma bacia se define como um sistema complexo, constituído por componentes abióticos e bióticos que necessitam

estar em harmonia nas suas inter-relações para manter seu equilíbrio dinâmico, que no passado geológico só era interrompido por grandes alterações tectônicas ou climáticas, e agora sofre rapidamente as mudanças impostas pelo homem.

Christofolletti (1980, p. 30) afirma que se pode compreender e delimitar desequilíbrios ambientais analisando as bacias hidrográficas, utilizando a teoria do equilíbrio dinâmico, buscando sempre a maneira mais correta de uso da bacia, define Christofolletti (1980, p. 30), bacias hidrográficas, como sendo um sistema aberto que:

Mantém constante permuta de matéria e energia com os demais sistemas componentes de seu universo, a fim de que possam permanecer em funcionamento através da constante remoção de tais fornecimentos de energia. Porém o estado de estabilidade em uma bacia representa o bom funcionamento do sistema, no momento em que todas as variáveis estão ajustadas em função da qualidade e variabilidade intrínseca da energia que é fornecida. (CHRISTOFOLETTI, 1980, p.30)

Desta forma (DREW, 1983, p. 28) afirma que mudanças impostas ao meio ambiente possuem um limite, pois há um determinado ponto em que o meio não suporta mais tais mudanças sem que se verifique uma alteração profunda no conjunto do sistema e, alcançado este limiar, a mudança se torna irreversível. Para se evitar tais desequilíbrios e degradação ao ambiente nas bacias hidrográficas Bigarella (1985, p. 43), considera necessária a análise do uso da terra, seguindo regras conservacionistas, tendo como objeto de estudo a bacia hidrográfica como um todo, ou suas micro-bacias, buscando como meta a perpetuação da qualidade ambiental da mesma.

As análises dos recursos naturais físicos e biológicos que compõe uma bacia hidrográfica e os efeitos da ação antrópica, podem ser efetuados, sob a ótica da Teoria dos Sistemas, que posiciona a abordagem sistêmica na análise ambiental, devendo esta sempre remontar a questão do equilíbrio do meio ambiente. Tricart (1977, p. 16)

Isso significa que as formas e os atributos de uma bacia hidrográfica apresentam valores dimensionais de acordo com as influências exercidas pelo ambiente, que controla a qualidade e a quantidade de matéria e energia a fluir pelo sistema. (ALMEIDA, 2002, p. 45)

Desta forma os sistemas mudam com o tempo, mas em longa duração (alterações climáticas, aberturas de vales, colonização de vegetais). Para a escala humana do tempo os sistemas naturais parecem estáticos na sua maioria, mas até isso é verdadeiro apenas para efeito estatístico, já que na realidade os sistemas oscilam em torno de uma situação média – estado conhecido como equilíbrio dinâmico. (ALMEIDA, 2002, p. 45)

Por exemplo, ainda que a flora de um campo possa variar em espécies, tipo e abundância no curso dos anos em correspondência a flutuações climáticas e de pastoreio, de modo geral o caráter da flora permanecerá constante, a menos que uma ou mais das variáveis dominantes (clima, solo, população) imponha uma alteração ambiental perdurável e de largas proporções. (DREW, 1983, p. 60)

Entretanto, se aplicar ao sistema um esforço extremo suficiente (ímpeto de mudar) então todo ele estabelece um novo patamar de equilíbrio dinâmico, em nível diferente de operação. No exemplo da flora do campo, uma drenagem extensiva do solo poderia alterar de tal forma o caráter e a umidade do solo de modo a provocar o aparecimento de uma vegetação dominante do tipo xerófila (resistente à seca). (DREW, 1983, p. 60)

2.6 Teoria Geral dos Sistemas e Análise Sistêmica

Drew (1983, p. 19) afirma que a melhor maneira de descrever o funcionamento da Terra é como se esta fosse um sistema gigantesco, onde seus componentes são ligados por fluxos de energia e funcionam como uma unidade. Por exemplo, pode-se citar um reservatório de água, ou a atmosfera para representarem esse sistema. Se o sistema recebe energia do exterior e devolve energia diz-se ser um sistema aberto. Se a energia e, por consequência a massa, são retidas dentro do sistema (autoconcentração) diz-se que é um sistema fechado. (DREW, 1983, p 19).

Este tipo de abordagem sistêmica, não fica apenas restrito aos estudos da Geografia Física, visto que a origem destes preceitos metodológicos advém da idéia de uma proposta oriunda das ciências naturais, com o biólogo austríaco Karl Ludwig Von Bertalanffy (1975), que estabeleceu a Teoria Geral dos Sistemas e

posteriormente a consolidou como uma metodologia científica, onde a proposta era a “busca de novas leis, aplicáveis aos estudos dos seres vivos, menos contaminada pela rigidez das leis da física clássica newtoniana e mais favoráveis ao conhecimento da suas complexas relações e interações”, BERTALANFFY (1975).

Desta forma naturalistas do Século XIX como Richthofen e Humboldt, são considerados precursores da visão sistêmica, uma vez que adotavam como procedimento metodológico a observação e a descrição de vários itens observados em campo (RODRIGUES, 2001, p. 62).

BERTALANFFY (1975), afirma que, por ser “a característica fundamental de uma forma viva a sua organização, a análise das partes e dos processos isolados uns dos outros não pode dar-nos uma explicação completa do fenômeno da vida”. Desta forma em 1950, Bertalanffy publica seus primeiros artigos importantes que constituem a base da Teoria Geral dos Sistemas.

Um deles refere-se à noção do sistema aberto, pela qual entendia como sistema aberto, aquele que mantém trocas com o seu meio exterior. E somente em 1968 publica sua obra final intitulada *General System Theory* (Teoria Geral dos Sistemas), que se constituiu em um clássico da literatura sistêmica.

Rodrigues (2001, p. 69-77), afirma que da Teoria Geral dos Sistemas, surgiram dentro da geografia física, apoiada em diversas propostas de modelos conceituais, morfológicos, e de classificação dos sistemas, as abordagens ecodinâmica de Tricart (1977), ou ecogeográfica de Tricart e Killian (1979), e os esquemas de classificação propostos por Bertrand (1972) e Sotchava (1977).

Desta forma para Tricart (1977, p. 19), o conceito de sistema é o melhor instrumento lógico para o estudo dos problemas ambientais, pois permite:

Adotar uma atitude dialética entre a necessidade da análise - que resulta do próprio progresso da ciência e das técnicas de investigação - e a necessidade, contrária, de uma visão de conjunto, capaz de ensejar uma atuação eficaz sobre esse meio ambiente. Ainda mais, o conceito de sistema é, por natureza, de caráter dinâmico e por isso adequado a fornecer os conhecimentos básicos para uma atuação. (TRICART 1977, p.19)

A concepção sistêmica também foi proposta metodológica nos trabalhos de Sotchava (1977), na Geografia Soviética, onde inspirado por geógrafos como

Vernadsky, criou a concepção geossistêmica, apresentando uma hierarquia estrutural que vai do nível planetário ao regional e ao nível topológico, estando divididos entre geômeros, que apresentam uma estrutura homogênea, e geócoros apresentando estruturas diferenciadas em relação de interdependência (JOHNSNTON, 1986, p. 95).

Bertrand (2004, p. 114) atesta que o estudo sistêmico “não é a simples adição de elementos geográficos disparatados.” Mas que a paisagem deve ser uma “porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, composta de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução.”

Essa constatação do uso sistêmico, nos trabalhos ambientais dentro da Geografia Física também foi apontada por Gregory (1992 p. 227), ao reportar-se a participação de Bennet e Chorley (1971), nos pressupostos da teoria dos sistemas, que produzia uma análise que tentava explorar inicialmente a abrangência em que:

A teoria dos sistemas oferece enfoque interdisciplinar para questões ambientais e como a tecnologia dos sistemas oferece instrumento adequado para isso; as abordagens sistêmicas auxiliam no desenvolvimento de uma teoria integrada relacionando a teoria social e econômica às teorias física e biológica. (GREGORY 1992 p. 227)

Atualmente Pires e Santos (1995, p. 78), afirmam que a abordagem sistêmica deve integrar todos os aspectos ambientais, pois a capacidade ambiental de dar suporte ao desenvolvimento possui sempre um limite, a partir do qual todos os outros aspectos serão inevitavelmente afetados.

Especificamente ao reportar-se à questão ambiental, na visão sistêmica entende-se que o conceito de sistema é essencialmente funcional, podendo ser aplicado desde comunidades de plantas a grupos humanos complexos. (BASTOS e ALMEIDA, 2002, p. 125).

Para interpretar esta complexa relação de elementos integrados, é possível apoiar-se na classificação e terminologia dos sistemas desenvolvida por Chorley e Kennedy (1971) *apud* Johnsnton (1986 p. 158) os quais identificam dois tipos de sistemas:

Sistemas morfológicos que manifestam relações estáticas de ligações entre elementos, desenvolvendo relações funcionais entre as variáveis, estes são sistemas em cascata nos quais ocorre transferência de energia de um elemento para o outro, podendo cada elemento ser um próprio sistema, e sistemas de processo e resposta os quais diferentemente do anterior, estuda o processo, de inter-relação causal. (CHORLEY e KENNEDY (1971) *apud* JOHNSNTON, 1986 p. 158)

Fator importante a ser observado na análise ambiental por abordagem sistêmica é a questão do fluxo de matéria e energia dentro do sistema, pois nos sistemas do tipo cascata, o caminho percorrido pelo fluxo de massa ou energia quando esta se transfere de um elemento do sistema para outro deve ser monitorado, evitando possíveis desequilíbrios.

Monitorar estes eventos que expressam o fornecimento de matéria e energia aos sistemas é importante, pois são eles que regulam o funcionamento e a organização do mesmo. (ALMEIDA, 2002, p. 126).

Já a inserção de energia ou matéria, em um sistema que possui cadeias com elos de força variável pode ser perigoso, pois alguns sistemas naturais se desintegram com maior facilidade de que outros, com uma rápida e irreversível modificação em seu todo. Por exemplo, sistemas biológicos (ecossistemas) reagem mais rapidamente à tensão e oferecem menos resistência do que sistemas inorgânicos. (SÁNCHEZ, 2008, p. 28)

Portanto é importante observar que atividades que alteram o ambiente na maioria das vezes têm intenção de serem benéficas do ponto de vista humano. Mas o grau de interferência nos fenômenos naturais mostra que mudanças inesperadas ou até reações em cadeia, resultam daquilo que pretendia ser uma “benfeitoria”.

Desta forma a intensidade destas alterações inadvertidas depende em primeiro lugar do esforço (ou tensão) aplicado ao sistema pelo homem e em segundo lugar, ao grau de suscetibilidade á mudança (sensibilidade) do próprio sistema. (DREW, 1983, p. 193).

Assim na realização de estudos e avaliação de riscos ambientais, deve-se buscar as inter-relações entre os elementos forma de sistemas que se integram e interagem, no caso deste estudo se definiu, que a análise sistêmica deve integrar todos os passos da metodologia de abordagem.

Desta forma a análise sistêmica dos riscos, requer inicialmente um trabalho de identificação e valoração dos fatores que formam o risco ambiental, este

incremento a metodologia, pode ser denominado como análise quantitativa e qualitativa. (SOTCHAVA 1977, p. 47)

Tais análises se diferem, pois a análise quantitativa de risco produz geralmente resultados expressos em termos numéricos ou monetários/econômicos, enquanto a análise qualitativa de risco tende a usar escalas ordinais e comparativas como, alto, médio, baixo. (SÁNCHEZ, 2008, p. 169)

Cada uma das análises tenta identificar, a sua maneira a exposição de um ambiente a um determinado nível de risco. Contudo, a principal diferença entre as abordagens é o critério usado para estabelecer os níveis de risco, pois na análise quantitativa estabelece-se risco em termo de valores (em dinheiro), por exemplo, pode-se citar o impacto causado em uma empresa por ameaças de expectativa de perda anual, a qual será igual ao impacto financeiro multiplicado pela frequência de ocorrências (normalmente por ano). Essa expectativa de perda anual tem a vantagem de traduzir as necessidades de proteção em uma linguagem financeira que um gestor financeiro entende. (SÁNCHEZ, 2008, p. 170)

Já a análise qualitativa, por outro lado é mais subjetiva estabelecendo critérios de classificação em níveis de risco como de 1 a 10, ou de muito baixo a muito alto (SÁNCHEZ, 2008, p. 313). Assim, o fato da análise qualitativa requerer menos informação do que a análise quantitativa faz que a tarefa de reunir informações seja relativamente mais rápida. (SÁNCHEZ, 2008, p. 313)

E é neste contexto metodológico da análise qualitativa que estudos de risco ambiental devem levar em conta alguns critérios primordiais para a qualidade da pesquisa a ser executada como:

- Identificar o contexto do ambiente de risco, e determinar que receptores ou recursos estão sob risco.
- Identificar todas as ameaças ou riscos que podem afetar o local com necessidade de proteção.
- Estimar a probabilidade de ocorrência de um acidente.
- Determinar o impacto ou efeito sobre as coisas se uma perda realmente ocorrer.

É importante esclarecer que existem inúmeras metodologias a escolha do pesquisador, e nenhuma é a solução definitiva ou é claramente a melhor para um dado problema, pois sempre dependerá do ponto de vista de quem analisa qual será a melhor metodologia. (SÁNCHEZ, 2008, p. 322)

Desta forma após a escolha da metodologia deve-se selecionar a ferramenta que permita ao usuário entender como os resultados podem ser alcançados, e como estes possam ser aplicados e confiáveis.

Assim é necessário observar que, a análise de risco ambiental pode ser um processo demorado e caro, e conseqüentemente, a metodologia e a ferramenta a serem empregadas devem ser escolhidas com cuidado, pois a escolha destas é ponto chave que determina o sucesso da análise e o seu custo operacional. (SÁNCHEZ, 2008, p. 325)

Xavier-da-silva e Carvalho filho (1995. p. 315) afirmam que os métodos de análise de risco, na maioria foram desenvolvidos para a aplicação em indústrias, sendo atualmente também utilizados para avaliações ambientais.

Porém com o advento do Geoprocessamento e o uso dos Sistemas de Informação Geográfica, tornou-se possível a avaliação dos riscos ambientais e a sua disponibilização em mapas georreferenciados, utilizando métodos de aplicação na área ambiental que englobam, o mapeamento e avaliação de riscos ambientais.

Desta forma como a maioria das características ambientais, ocorrem em áreas mensuráveis, torna-se interessante espacializá-los para facilitar os estudos de risco ambiental, esta espacialização de eventos ou fatores ambientais pode ser feita através de cartografia ou uso de imagens. (XAVIER-DA-SILVA e CARVALHO FILHO, 1995. p. 318)

Portanto é neste momento que mapas temáticos, sobre geologia, solos, relevo, altimetria, declividade, vegetação, hidrografia, uso do solo e outros que mostram a distribuição dos fatores ambientais, se tornam imprescindíveis para o diagnóstico ambiental, incluindo-se as avaliações dos riscos ambientais, que podem ser melhor desenvolvidas quando se faz o uso de mapas temáticos. (XAVIER-DA-SILVA e CARVALHO FILHO 1995. p. 318)

Porém, a leitura, interpretação e o cruzamento da grande quantidade de informações disponíveis nos mapas e planos de informações só se tornam efetivas e confiáveis, quando se dispõe de ferramentas poderosas para armazenamento, manipulação, e interpretação desses dados, e isso tem sido executado com a utilização dos Sistemas de Informação Geográfica, que segundo Xavier-da-silva e Carvalho filho (1995. p. 321) possuem dentro de sua rotina de trabalho dois momentos distintos:

- Pré-Geoprocessamento: aquisição de dados em laboratório e campo

- Geoprocessamento dos dados: obtenção de seus produtos e checagem de campo.

2.7 FATORES DE RISCO AMBIENTAL A BACIAS HIDROGRÁFICAS

Muitos são os fatores que causam riscos ambientais às bacias hidrográficas, principalmente aqueles ligados ao uso do solo. Tais usos apesar de possuírem características próprias, como intensidade de contaminação e área de abrangência em um possível impacto ambiental, não são isolados e geralmente interferem uns aos outros ou se agregam causando maiores desequilíbrios dentro da bacia. Desta forma esses fatores de risco ambiental devem ser geridos de maneira correta baseados em estudos e pesquisas. Cinco foram os fatores selecionados nesta pesquisa e são descritos a seguir, pois servem de base para fundamentar esta pesquisa.

2.7.1 Indústrias

Atualmente é bem conhecido da comunidade científica o risco que atividades industriais trazem ao meio ambiente, pois os maiores impactos ambientais conhecidos são e foram causados pelas indústrias, que pela grande quantidade de passivos ambientais que geram em seus processos geralmente deixam um rastro de degradação. (SÀNCHEZ, 2008, p. 113)

Portanto localizar e analisar a atividade industrial dentro de uma bacia hidrográfica é de extrema importância dentro de uma avaliação sistêmica de risco ambiental, pois os efluentes desta em sua grande maioria acabam por atingir a rede de drenagem ocasionando a deterioração da qualidade ambiental dos canais de drenagem. (SANCHEZ, 2008, p. 154)

2.7.2 Mineração

Apesar de pontuais, e representar apenas 0,04% da área de pesquisa as áreas de mineração, segundo Sánchez (2008, p. 150), são agentes, deflagrador de intensos impactos ambientais e conseqüentemente riscos e desequilíbrios ao meio ambiente.

Sánchez (2008, p. 150), afirma que os impactos que a mineração pode causar a comunidade que esta inserida e dentro de suas próprias organizações são alarmantes. Tais impactos descritos de forma sucinta podem ocasionar ao ambiente e ao homem vários problemas principalmente com os recursos hídricos que são tomados por partículas sólidas vindas do processo de pesquisa, extração, beneficiamento e da infra-estrutura; óleos, graxas e elementos químicos deixados no solo podendo alterar águas subterrâneas - poluindo matéria prima indispensável para a atividade humana.

No caso da lavra de areia esta após a abertura da cava modifica de forma brusca o local, podendo causar erosões voçorocas e assoreamentos, os solos são alterados de forma drástica após a retirada da cobertura vegetal para abertura da cava e construção de vias de acesso modificando significativamente a permeabilidade. (SÁNCHEZ 2008, p. 153)

A vegetação da área pode ser perdida se não retirada de forma cuidadosa, com a devida catalogação de todas as espécies que poderão ser usadas para recuperação da mesma, a qualidade do ar é alterada, provocada por veículos pesados e leves que circulam no local. Ruídos e vibrações são outros problemas ambientais que também surgem junto à extração mineral. (SÁNCHEZ 2008, p. 154)

2.7.3 Solo Exposto

O desenvolvimento das atividades antrópicas causa uma série de efeitos danosos sobre o meio natural. Atividades como agricultura, pecuária, indústrias e o próprio processo de expansão urbana, geram uma série de desequilíbrios

ambientais sobre os solos, ar, vegetação nativa e principalmente sobre os recursos hídricos superficiais, pois estes têm a sua qualidade diretamente ligada ao tipo de cobertura do solo presente na bacia hidrográfica, na qual se insere o corpo d' água (EMBRAPA, 2005, p. 01).

Desta forma, em uma bacia hidrográfica, a qualidade das águas depende das condições naturais, tendo em vista que, mesmo em áreas totalmente preservadas em suas condições naturais, a qualidade da água sofre interferência do carreamento natural de partículas do solo após eventos de chuva e dissolução de íons de rocha, e da interferência antrópica, que afeta a qualidade das águas através do lançamento de efluentes domésticos, industriais e insumos agrícolas (EMBRAPA, 2005, p. 07).

Como consequência do crescimento dos processos produtivos sem que haja um controle adequado na gestão de seus efeitos impactantes, pode-se destacar o atual quadro de degradação dos solos, em função da retirada da cobertura vegetal nativa para implementação de projetos de loteamentos, pastagens e cultivos. Desta forma, a maior exposição do solo favorece a incidência de processos erosivos, que carregam o material particulado para os cursos d'água, comprometendo sua qualidade devido ao aumento da turbidez e consequentemente desencadeando em processos de assoreamento do leito. (SÁNCHEZ, 2008, p. 272).

2.7.4 Áreas Rurais

Atividades agrícolas provocam impactos sobre o ambiente, tais como desmatamentos, expansão da fronteira agrícola, queimadas em pastagens e florestas, poluição por dejetos animais e agrotóxicos, erosão, degradação de solos e contaminação das águas (TOMMASI, 1993, p. 13).

As consequências desses impactos são a extinções de espécies e populações, diminuição da diversidade biológica, perda de variedades, entre outros.

Uma das principais ameaças ao meio ambiente não é a expansão da fronteira agrícola, mas a tendência à monocultura, ao uso de agrotóxicos e a consequente extinção de sistemas tradicionais de cultivo. Sabe-se que as áreas que

são submetidas ao cultivo ou pastoreio intensivo por longos períodos se degradam rapidamente devido às práticas que empregam o fogo na abertura das áreas, ocorrendo a perda dos agregados de matéria orgânica e argila. (TOMMASI, 1993, p. 14).

As causas dos impactos da agricultura sobre o ambiente têm origem na demanda de mercado, e suas conseqüências implicam em custos ambientais e ecológicos de difícil mensuração. Para que se promova o desenvolvimento de uma agricultura sustentável é necessário conscientizar o agricultor sobre a conservação do ambiente, além de a ele oferecer os meios e métodos para alcançar esse desenvolvimento sustentável. (RODRIGUES, 2004, p. 98)

De forma geral, os problemas ambientais relacionados à sustentabilidade da agricultura brasileira são bem conhecidos e diagnosticados. A destruição da cobertura vegetal e a conseqüente degradação física e química dos solos; a utilização de insumos e máquinas em excesso, na tentativa de dirimir os problemas de fertilidade, resulta na contaminação das águas e dos produtos agrícolas, associados a problemas de qualidade da produção e comprometimento da saúde dos trabalhadores e consumidores; e o avanço das áreas agrícolas sobre as reservas naturais, como forma de reposição dos solos tornados inadequados à agricultura são exemplos desses conhecidos problemas. (RODRIGUES, 2004, p. 99)

Aos impactos ambientais das produções vegetal e animal, somam-se os efeitos das atividades não agrícolas, urbano-industriais e de mineração, produtoras de rejeitos que poluem o ar, o solo e as águas. As inter-relações desses impactos e suas conseqüências para a sustentabilidade do desenvolvimento são cada vez mais evidentes.

A priorização dos aspectos relativos ao ambiente e ao uso racional dos solos utilizados por atividades agrícolas reflete uma preocupação de âmbito mundial, expressa em influentes trabalhos sobre os impactos das atividades humanas e as conseqüências desses impactos sobre a sustentabilidade da sociedade (CONWAY 1993, p. 134).

2.7.5 Áreas Urbanas

Diante dos processos de industrialização e crescimento urbano, tornou-se crescente a busca por modelos que compatibilizem o desenvolvimento econômico com uma efetiva manutenção da produtividade dos recursos naturais, como também da qualidade ambiental. (MELLO, 2002, p. 78)

Nos últimos tempos, a conservação da natureza passou a ser compreendida como sendo o resultado do uso racional do meio ambiente, de modo a permitir uma produção contínua dos recursos naturais renováveis e a otimização do uso dos recursos não-renováveis, a fim de garantir uma melhor qualidade de vida para as gerações presentes e futuras.

Sob este enfoque, a dimensão ambiental tornou-se uma variável essencial aos programas de desenvolvimento. Vale ressaltar que os maiores desafios residem não apenas nas áreas tecnológicas ou financeiras, mas, sobretudo, no gerenciamento responsável dos recursos naturais, sejam estes fornecedores de bens e serviços ou receptores finais de resíduos.

Atualmente, as discussões acerca da deterioração do meio ambiente enfocam as grandes cidades do país, onde o efeito da urbanização sobre os ecossistemas tem provocado uma intensa degradação dos recursos naturais. Porém, pode-se verificar que mesmo os municípios de pequeno e médio porte apresentam uma situação crítica no que diz respeito à falta de planejamento municipal.

Neste contexto, pode-se citar municípios das regiões metropolitanas, uma vez que vêm crescendo de forma, sem planejamento ou diretrizes urbanísticas prévias, criando situações de confronto entre o suporte natural e os objetos construídos. De acordo com Mello (2002, p. 79), o crescimento dos municípios se estabelece paralelo a um processo crescente de degradação ambiental, onde são praticadas constantemente agressões contra a boa climatização, a correta drenagem, as áreas verdes, os cursos hídricos e a topografia original, levando a dois tipos de impactos:

- Sociais, com aumento do contingente populacional, Aumento da criminalidade e insegurança da população local, Importação de doenças,

Choque cultural, Conflitos sociais, Modificação na estrutura imobiliária local, Aumento da demanda de imóveis, Processo acelerado de urbanização, Aumento do volume do lixo, Aumento significativo do fluxo de veículos.

- Ambientais, Alteração da paisagem natural, Alteração da ecodinâmica, Prejuízo para o setor agrícola, Alteração na forma de ocupação e uso da área, Aceleração dos processos erosivos, Alteração da qualidade das águas e do ar, Assoreamentos, Alteração na dinâmica das feições geomorfológicas, Alteração da biota, Perda da qualidade de vida da fauna aquática, Poluição indiscriminada dos cursos de água

2.8 USO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NA ANÁLISE AMBIENTAL

Sistema de Informação Geográfica (SIG) é definido por Burrough (1996) como: "conjunto poderoso de ferramentas, para coletar, armazenar, recuperar, transformar, e apresentar dados espaciais do mundo real, para um conjunto particular de propósitos" Determinando-os como importante aliado nas análises espaciais.

Segundo Xavier (2004, p. 35), SIG é um sistema de software computacional com o qual a informação pode ser captada, armazenada e analisada, combinando dados espaciais de diversas fontes em uma base unificada, empregando estruturas digitais variadas, representado fenômenos espaciais também variados, através de uma série de planos de informação que se sobrepõe corretamente em qualquer localização.

Desta forma o SIG se tornou ferramenta imprescindível em análises espaciais e ambientais, pois une informações geográficas com alfanuméricas, permitindo agilidade nas análises espaciais.

Assim apoiado em uma base de dados confiáveis, o SIG atrelado ao uso de outros softwares permite não somente maior rigor e precisão nas análises, mas também a atualização periódica desses dados, em intervalos de tempo cada vez

menores, com aquisição dos dados espaciais e ambientais através do sensoriamento remoto, permitindo que sejam gerados dados que por sua vez são transformados em informações, que através de procedimentos de manipulação e análises, possibilitam gerar informações úteis na detecção e resolução de problemas ambientais.

Partindo deste pressuposto Rodrigues (1990, p. 53), afirma haver dificuldades nos trabalhos de monitoramento ambiental em escalas regionais sem a utilização de dados coletados pelos sensores dos satélites que orbitam nosso planeta e dos Sistemas de Informação Geográfica, pois é através destas novas tecnologias que se pode superar algumas limitações físicas de coletas de dados, com a vantagem da atualização dos dados poderem ser feitas quase que automaticamente, a cada novo ciclo de coleta de informações.

Como os Sistemas de informação Geográfica permitem modificações rápidas, incluindo-se a adição de novos dados, e investigar as inter-relações complexas entre diversos planos de informação são, sem dúvida, atraentes para o geoplanejamento e a gestão do território. Os SIGs, por serem ferramentas, interativas, podem ser sempre reajustados à medida que novos dados se tornem disponíveis e que haja necessidade de mudanças flexibilizando muito as análises espaciais e ambientais. (XAVIER, 2004, 36)

Neste contexto, Gregory (1992 p. 324), afirma ser necessário uma visão holística para os trabalhos com SIGs sobre meio ambiente, e que se deve: “incluir a possibilidade de se obter uma visão global dos problemas ambientais, pois com a obtenção de imagens do mesmo local em diversas temporalidades, isto permite ao pesquisador a interpretação de padrões ambientais antes impossíveis de serem notados em escalas macrorregionais”.

Desta forma, é possível descrever a essência dos trabalhos com o uso dos SIGs, com este sendo considerado ferramenta para análises de planejamentos e gestão territorial, onde os elementos inseridos nestes sistemas de análise podem ser componentes físicos da natureza, tais como, clima, topografia, geologia, hidrografia, vegetação, solo, dentre outros.

Assim os Sistemas de Informação Geográfica estão cada vez mais ligados aos trabalhos de monitoramento e gerenciamento ambiental. E ao pesquisador cabe articular a possibilidade da modelagem destes dados na concepção da análise sistêmica para o enfoque ambiental.

Já a aplicabilidade dos modelos geossistêmicos em trabalhos desenvolvidos com ferramentas computacionais dependerá dos objetivos propostos pelo pesquisador, pois Gregory (1992, p. 229) afirma que:

O cientista que possui visão mais geral deveria concentrar-se sobre a estrutura e a magnitude em todos os níveis hierárquicos, ajustar o detalhe no contexto geral e, tentando identificar relações, acreditar que algum conhecimento de complexidade interligada é preferível a conhecimento especializado ainda mais detalhado. GREGORY (1992, p. 229)

Desta forma a manipulação dos dados obtidos para o estudo de degradação ambiental e risco ambiental, no ambiente SIG, podem compor uma metodologia de avaliação ambiental, denominada superposição de mapas, que de acordo com Bastos e Almeida (2002, p. 95) “interagem para produzir a síntese da situação ambiental de uma área geográfica, podendo ser elaboradas de acordo com os conceitos de vulnerabilidade ou potencialidade dos recursos naturais.”

2.8.1. Lógica Booleana

Na matemática e na ciência da computação, as álgebras booleanas (também conhecida como "Álgebra de Boole") são estruturas algébricas que "capturam a essência" das operações lógicas E, OU e NÃO, bem como das operações da teoria de conjuntos soma, produto e complemento. Ela também é o fundamento da matemática computacional, baseada em números binários. (MEIRELLES, 1997, p. 58)

Tal campo das ciências exatas recebeu o nome de George Boole, matemático inglês, que foi o primeiro a defini-las como parte de um sistema de lógica em meados do século XIX. Mais especificamente a álgebra booleana é uma tentativa de utilizar técnicas algébricas para lidar com expressões no cálculo proposicional, e foi utilizada pela primeira vez em interruptores elétricos por Claude Shannon, no século XX. (MEIRELLES 1997, p. 59)

No campo das análises booleanas, o sistema de numeração é binário compondo apenas uma matriz formada por zeros(0) e uns(1), que são a base universal da linguagem dos computadores, desta forma a lógica booleana trabalha somente com dois tipos de respostas, que são sempre ambíguas, (baseadas em 0(zeros) e 1(uns)), por exemplo, claro e escuro, fácil e difícil, certo e errado. (MOREIRA, 2001, p. 42)

Na lógica Booleana, o 0(zero) representa falso ou não, enquanto o 1(um) representa verdadeiro ou sim. Característica marcante da abordagem Booleana é sua simplicidade e fácil aplicação em casos como a combinação lógica de mapas em um SIG, que se dá de maneira análoga ao tradicional método de sobreposição de layers empregado nas mesas de luz. (MOREIRA, 2001, p. 49)

Tais cruzamento de dados no modelo Booleano envolvem a combinação de mapas binários através de sobreposição, onde cada mapa utiliza uma condição lógica de áreas (objetos ou fatores) representadas por seqüências de (0)zeros e (1)uns e são entendidos como plano de informação passíveis de serem cruzados. Cada Localização é então testada, para determinar se as evidências nesse ponto satisfazem ou não as regras definidas pela hipótese analisada, o resultado então é expresso de forma binária, “0” (hipótese não satisfeita) e “1” (hipótese satisfeita), não sendo possível a condição “talvez”. (CHORLEY; HAGGET, 1975, p. 154)

Desta forma na lógica booleana, ao se combinar tais mapas temáticos, se geram planos de informações onde as variáveis (físicas, ambientais, sociais ou quaisquer outras) são cruzadas e acessadas facilmente pelo pesquisador. Cada variável é representada em um layer (plano de informação), que combinados segundo uma seqüência lógica dará suporte através de mapas temáticos a uma hipótese ou proposição definida. (CHORLEY; HAGGET, 1975, p. 157)

Bonham-Carter (1994, p. 89), afirma que este método mesmo sendo prático, normalmente não é o mais adequado, pois o ideal é que fatores que apresentem importância relativa diferentes recebam pesos diferenciados e não sejam tratados igualmente como acontece em tais análises booleanas, pois cada critério a ser combinado precisa ser ponderado e ter considerado a sua importância mesmo que esta seja relativa ou escalonada em relação aos demais critérios

Desta forma para Meirelles (1997 p. 136), tais fronteiras rígidas do modelo booleano não permite que os erros ou ambigüidades sejam medidos, o que impede considerar o grau de importância dos critérios utilizados na análise, determinando

resultados pouco aprofundados em relação ao ambiente em que estes estão inseridos.

2.8.2 Lógica Fuzzy

A lógica difusa ou lógica fuzzy é uma extensão da lógica booleana que admite valores lógicos intermediários entre o FALSO (0) e o VERDADEIRO (1), por exemplo, o valor médio 'TALVEZ' (0,5). Isto significa que um valor lógico difuso é um valor qualquer no intervalo de valores entre 0 e 1. Este tipo de lógica engloba, de certa forma, conceitos estatísticos principalmente na área de Inferência. A lógica fuzzy eventualmente é encontrada na literatura acadêmica com nomenclaturas como “lógica difusa” e “conjuntos nebulosos” para indicar respectivamente Lógica Fuzzy e Conjuntos Fuzzy. (MOLAK, 1997, p. 58)

Molak (1997, p. 62), afirma que o uso da Lógica Fuzzy na análise de riscos ambientais é adequado, uma vez que as incertezas que surgem, em geral, não são do tipo verdadeiro ou falso como no caso dos estudos regidos pela conhecida Lógica Booleana, pois;

Na lógica booleana o conhecimento de um conjunto de dados permite conhecer o resultado final de análise, o que nem sempre é verdade quando se lida com fenômenos naturais. Exemplo disso são as condições de tempo, para as quais não se pode simplesmente dizer que se não chover fará sol, ou se fizer sol não teremos chuva. Neste caso ainda nos confrontamos com o problema da intensidade, pois, se chover, será uma chuva rala ou torrencial? Se tiver vento, será forte ou apenas leves brisas? E os impactos de cada evento que se manifestar serão benéficos ou maléficos? Desta forma na lógica booleana, não se pode verificar que tais impactos têm uma graduação e dependendo do caso, esta é bastante complexa e interfere nos resultados. (MOLAK, 1997, p.63)

Portanto a Lógica Fuzzy se mostra mais eficaz para lidar com tais imprecisões, uma vez que captura dados vagos, oriundos de uma linguagem natural e os transforma em dados numéricos, matematicamente analisáveis, variando em

uma escala de pertinência entre 1 e 0 tornando possível a pertinência parcial de um elemento a um conjunto. (IBRAHIM, 2003, p. 245)

Assim, Ferreira (2004, p. 145) define os conjuntos (ou classes) fuzzy como representações sem fronteiras (transições) abruptas, isto é, a transição entre o pertencer (pertinência) e o não pertencer (não pertinência) de uma localização num conjunto, de forma gradual (escalonada).

Desta forma o conjunto fuzzy se caracteriza por uma gama de possibilidades que variam entre 0.0 e 1.0 (ou 0 e 255), indicando um incremento contínuo de não pertence até pertence completamente.

De maneira complementar a afirmação anterior, Moreira (2001, p. 132) define tais conjuntos como uma forma de caracterização de classes temáticas, que por várias razões não têm ou não definem limites rígidos (contatos) entre si.

No caso das análises ambientais os modelos Booleano e Fuzzy ambos possuem operadores para a síntese da informação geográfica, sendo que no Modelo Fuzzy, a análise se dá através da combinação segundo análises multicritérios, definidas através de uma seqüência lógica realizada pelos operadores fuzzy: mínimo, máximo, média, ponderado (com o uso do Processo Analítico Hierárquico) e gama. (MOREIRA, 2001, p. 132)

Partindo de estudos de comparação dos Modelos Booleanos e Fuzzy, Burrough e Mcdonnell (1998, p. 68) consideram que o primeiro está muito mais sujeito à propagação de erros, sendo que o segundo tem como característica a indefinição de fronteiras ou limiares entre as classes.

Portanto ao utilizar-se a lógica fuzzy em análises ambientais, deve-se ter em mente que este é um modelo, e assim sendo, é uma forma de se representar a realidade, tentando-se imitar ou reproduzir as ocorrências do mundo real. Assim, pode-se trabalhar a informação existente, fazendo simulações e extraindo novas informações que servirão na tomada de decisão. (BURROUGH E MCDONNELL, 1998, p. 68)

Por se tratar de um modelo de análise é necessário a escolha de método adequado para cada situação de análise, onde técnicas distintas geram mapas finais distintos, para a mesma área.

Desta forma Fang (1997, p. 261) afirma que um benefício significativo dos modelamentos baseados em lógica fuzzy é a habilidade da codificação de conhecimentos inexatos, numa forma que se aproxima muito aos processos de

decisão. Tais sistemas de inferências baseados em lógica fuzzy possibilitam, assim, a captura do conhecimento próximo ao “modelo cognitivo” utilizado na análise de problemas. Isto significa que o processo de aquisição do conhecimento é mais fácil, mais confiável e menos sujeito a erros não identificados.

Desta forma ao se aplicar a lógica Fuzzy em análises ambientais, deve-se buscar uma classificação multicritério, onde as classes temáticas e pesos são definidos com base na experiência de pesquisadores, questionários de avaliação ou entrevistas, formas estas que ainda possuem forte carga de subjetividade. Porém observa-se que esta opção tem sido a mais adotada em trabalhos que procuram uma alternativa metodológica ao modelo booleano. (EASTMAN, 2001, p. 127)

Outro método de abordagem é baseado na definição de classes temáticas não pautadas somente na experiência ou em dados empíricos, mas com auxílio de operadores matemáticos, que possibilitam que as variáveis por si só se classifiquem em função de suas próprias características e relacionadas à localização geográfica. (EASTMAN, 2001, p. 127)

Assim a utilização da análise multicritério, segundo Eastman (2001, p. 128), é considerada um avanço significativo em relação ao procedimento convencional de cruzamento de planos de informação para a definição de áreas de interesse, sendo uma das técnicas mais empregadas para a tomada de decisão integrada com os Sistemas de Informação Geográficas.

Tommasi (1994, p. 145), discute a análise multicritério afirmando que esta busca uma visão global ou de conjunto, o que evita a análise individualizada de temas ou aspectos físicos e sem suposições à priori sobre as variáveis que desempenharão papel importante na definição das zonas de atuação, detectando-se tendências de variação e grupos de variáveis espacialmente relacionadas.

Tal autor ainda afirma que a automatização da análise cria a possibilidade de efetuar rapidamente aproximações para a descrição integrada do território e que a análise de diferentes variáveis temáticas se faz de forma integrada, podendo conhecer sua interdependência espacial em relação às unidades territoriais obtidas.

Para a integração dos fatores com base na abordagem multicriterial, vários métodos vêm sendo utilizados, como a Combinação Linear Ponderada (*Weighted Linear Combination* – WLC) e a Média Ponderada Ordenada (*Ordered Weighted Average* – OWA).

Voogd (1983, p 145), define tal procedimento (Combinação Linear Ponderada) como sendo o método no qual os fatores são padronizados de acordo com uma escala numérica comum, recebem pesos e são combinados por meio de média ponderada. O resultado é um mapa de prioridades que pode ser compartimentado em classes temáticas fuzzy (EASTMAN, 2001, p. 129).

Este método, conforme salienta Torezan (2005, p. 47), permite não apenas reter a variabilidade dos dados contínuos, mas oferece também a possibilidade dos parâmetros ambientais compensarem-se uns com os outros. Desta forma, um baixo valor de um determinado índice em uma variável para uma área qualquer pode ser compensado por um alto valor para outra variável.

O método da Combinação Linear Ponderada é, por sua vez, formalizado por médias e dessa maneira, suas soluções não serão nem arriscadas e nem aversas a risco, porque sempre estarão no meio dos extremos (MALCZEWSKI, 1999, p. 189).

2.8.2.1 Análise multicritério

Análise multicritério constitui-se basicamente como um processo matemático de tomada de decisões, que busca sempre a opção que apresente o melhor desempenho, a melhor avaliação ou ainda a melhor aliança entre dois ou mais critérios. (SOARES, 2004, p. 971)

A análise multicritério quando aborda uma problemática importante da dimensão humana como a gestão ambiental, deixa claro que não existe o melhor nem o pior absoluto, por isso no lugar de se procurar uma solução ótima, a análise multicritério tem por objetivo colaborar de modo transparente e racional, com um entendimento mais satisfatório possível para todas as partes estudadas. (SOARES, 2004, p. 998)

Análises multicritério têm por base modelos claramente explicitados, mas não necessariamente formalizados já que a análise multicritério é uma ferramenta de apoio à decisão que deve ser vista como uma atividade com dois componentes principais, o primeiro a construção de um modelo matemático para os fatores estudados e o segundo a gestão do processo, utilizando o resultado dos fatores. A

integração destes dois componentes e a maneira como eles se articulam irá definir o resultado na decisão multicritério. (HUGREL, 1998)

Segundo Soares (2004, p. 972), é importante ressaltar que a ferramenta de apoio às decisões multicritério são utilizadas, sobretudo em situações onde mais de uma opção de ações estão disponíveis para análise, e principalmente quando estas estão associadas a uma mesma função.

Desta forma Soares (2004, p. 972) afirma que:

A análise multicritério deve servir basicamente para ajudar aquele que tem o poder de decisão a controlar os dados, os quais são fortemente complexos, dentro do campo ambiental e a conduzir seu progresso em direção a melhor estratégia de gerenciamento ambiental. Assim sendo, os resultados obtidos pela análise multicritério e, como consequência, o apoio a tomada de decisão, dependem do conjunto de ações consideradas, da qualidade dos dados, da escolha e estruturação dos critérios, do método de agregação utilizado e da participação dos diferentes fatores. (SOARES, 2004, p. 972)

Desta forma o processo de análise multicritério seria formado por quatro fatores principais: a análise, os atores a avaliação e os critérios.

A análise seria o exame de cada parte do todo, tendo em vista conhecer sua natureza, suas proporções, suas funções, suas relações entre outros aspectos.

Os atores seriam o indivíduo ou grupo de indivíduos que influenciam direta ou indiretamente a decisão.

A parte da avaliação seria determinar, por exemplo, a valia ou o valor, o preço e o merecimento; calcular, estimar; reconhecer a grandeza, a intensidade, a força de algo. Trata-se de um procedimento de comparação de resultados (baseado em critério(s)) com um padrão de referência. (SOARES, 2004, p. 972)

Finalmente os critérios seriam a expressão qualitativa ou quantitativa dos pontos de vistas, objetivos, aptidões ou entraves relativos ao contexto real, permitindo o julgamento das ações potenciais. Em suma, eles representam as consequências sobre diferentes ações, que permitirão julgá-las. (SOARES, 2004, p. 974)

Desta forma com o problema já formulado e os atores envolvidos na tomada de decisão deve-se constituir um conjunto de alternativas que atendam ao problema colocado. Essas ações são as opções de escolha na tomada de decisão, ou ainda

os objetos sobre os quais serão procedidas as avaliações e comparações. Por exemplo, áreas para implantação de um aterro sanitário, matérias para a produção de uma embalagem, processos para eliminação de resíduos, entre outros. (SOARES, 2004, p. 977)

Assim a tomada de decisão se realizará, em função das ações disponíveis, do conjunto de critérios adotados, dos fatores de ponderação e do método de agregação empregado.

3 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO RIO VERDE

A Bacia Hidrográfica do Rio Verde está localizada entre as latitudes de 25° 18'S e 25°40'S, e as longitudes de 49°21'W e 49°49'W de Greenwich. Abrange parte dos municípios de Araucária, Campo Largo, Campo Magro e Balsa Nova, todos situados na porção oeste da Região Metropolitana de Curitiba – Paraná (figura 02).

Como o próprio nome da Bacia Hidrográfica expressa, o Rio Verde é o principal curso d'água dentro da área de estudo, sua nascente se localiza no município de Campo Magro, e deságua no Rio Iguaçu, a maior parte da bacia abrange regiões a montante da barragem do Rio Verde, sua área de contribuição hídrica recobre um total de 165,43 Km², é cortada, pelas PRs 423 ao sul e 090 ao norte e pela BR-277 na parte central, sendo esta a principal rota de ligação do interior paranaense com a Capital Curitiba e o Porto de Paranaguá.

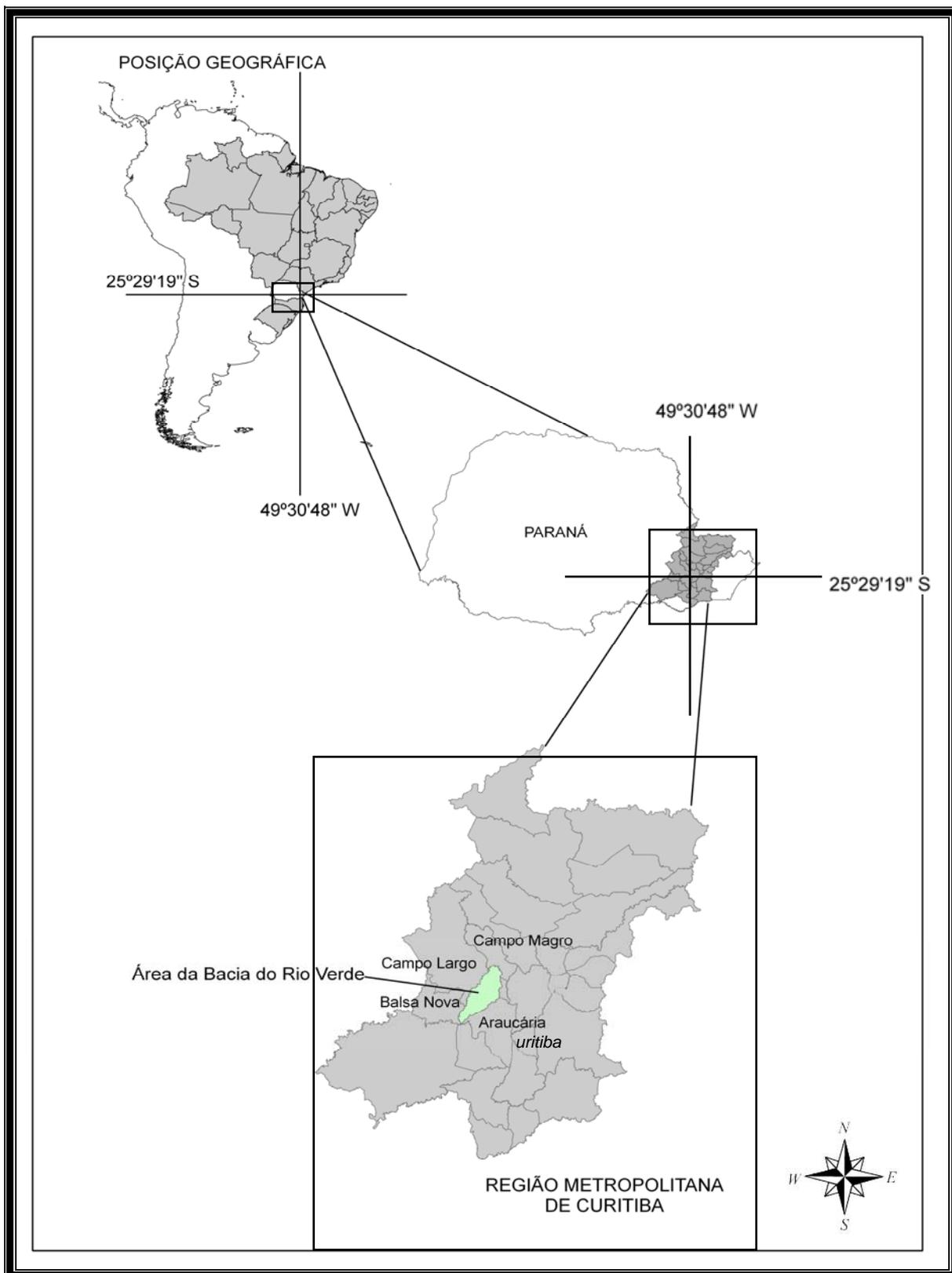


Figura 2 - CARTOGRAMA COM LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO, BACIA DO RIO VERDE

O Rio Verde é o canal principal de drenagem da bacia homônima, represado na parte sul da bacia forma a represa de mesmo nome (figura 03), o mesmo é afluente direto da bacia do alto Iguaçu que deságua no Rio Paraná.



Figura 3 - Represa do Rio Verde.
FONTE: Construtora C.R. Almeida

3.2 ASPECTOS DO MEIO FÍSICO

3.2.1 Geologia

A geologia da área é constituída pela ocorrência de sedimentos recentes, representados por aluviões do Holoceno, de sedimentos da Formação Guabirota do Pleistoceno, e de rochas metamórficas, tais Como os Pegmatitos, Migmatitos, Xistos, Anfibolitos e Quartzitos do Pré-Cambriano, sendo atravessadas, indistintamente por diques de diabásio do Jurássico-Cretáceo (MINEROPAR, 1999).

Salamuni (1998, p. 53), afirma que o embasamento da área em estudo, é constituído por migmatitos do complexo cristalino de idade pré-cambriana, onde estão entalhadas as áreas de encostas da região sobre as quais se assentaram os sedimentos da formação Guabirota no Pleistoceno, constituídos principalmente

por argilitos e arcósios. As planícies aluvionares são mais recentes (Holoceno), comandadas pela influência das cheias do Rio Iguaçu, apresentando de modo geral, sedimentos argilo-siltico-arenosos.

3.2.2 Clima

O clima regional, segundo a Classificação de Koeppen, é o tipo Cfb – temperado com verões frescos, geadas freqüentes, sem estação seca definida, com médias anuais de temperatura do mês mais quente inferior a 22 °C e do mês mais frio inferior a 18 °C. (Projeto Interdisciplinar de Pesquisa sobre a Eutrofização³ de Águas na Bacia do Rio Verde, 2008)

Com base nos registros dos últimos 30 anos, obtidos da estação meteorológica de Piraquara, cuja localização, pode ser utilizada para retratar o clima da região estudada, a temperatura média anual é de 16,5 °C, a temperatura média no mês mais frio é de 12,7 °C (Julho), e a do mês mais quente 20,3 °C (Fevereiro), as temperaturas mínimas podem atingir valores inferiores à -5 °C, e as máximas superiores a 33 °C. (Projeto Interdisciplinar de Pesquisa sobre a Eutrofização de Águas na Bacia do Rio Verde, 2008)

Conforme Maack (1981, p. 120), a formação de geadas na região é bastante comum, embora o número de ocorrências possa variar muito de um ano para o outro, indo desde duas até valores superiores a vinte.

A precipitação média anual é de 1400 mm, no entanto se observa variações importantes, com valores anuais tão baixos quanto 936 mm, ocorrido no ano de 1985 e tão altos quanto 2009 mm registrados em 1983. Historicamente os meses de maior precipitação coincidem com o verão, e os valores são em média pelo menos duas vezes maiores que os meses mais secos os quais ocorrem no inverno, tendo

³ Em ecologia, chama-se eutrofização o fenômeno causado pelo excesso de nutrientes (compostos químicos ricos em fósforo ou nitrogênio) numa massa de água, provocando um aumento excessivo de algas. Estas, por sua vez, fomentam o desenvolvimento dos consumidores primários e eventualmente de outros elementos da teia alimentar nesse ecossistema. Este aumento da biomassa pode levar a uma diminuição do oxigênio dissolvido, provocando a morte e conseqüente decomposição de muitos organismos, diminuindo a qualidade da água e eventualmente causando alterações profundas no ecossistema.

em julho ou agosto os meses de menor precipitação. No entanto como a precipitação nesse período é em média, superior a 70 mm, considera-se que as chuvas na região, são bem distribuídas durante o ano, o que em parte determina uma umidade relativa do ar média em torno de 85%. (Projeto Interdisciplinar de Pesquisa sobre a Eutrofização de Águas na Bacia do Rio Verde, 2008)

Os ventos predominantes são dos quadrantes setentrionais, com 52,7%, registrando-se os ventos portadores de chuvas de NW com 20,9% e de NE com 18,8%. Os ventos de bom tempo originam-se nos quadrantes meridionais SW, S e SE, sendo sua frequência de apenas 30,6%. Assinala-se 15,5% de calmarias (MAACK, 1981, p. 122).

3.2.3 Geomorfologia

A área de estudo esta localizada no primeiro planalto paranaense, que é formado por diferentes litologias. Estas afetam nitidamente o desenvolvimento do relevo, definindo um modelado distinto sobre cada unidade geológica. Santos (2006, p. 09) classifica a área da seguinte forma: Unidade Morfoestrutural: Cinturão Orogênico do Atlântico; Unidade Morfoescultural: Primeiro Planalto Paranaense; Sub-Unidade Morfoescultural: Planalto de Curitiba. A região do primeiro planalto paranaense ocupa uma área de 2664,09 km², com classes de declividade predominantes menores que 6% em uma área de 1634,42 km² e de 6-30% em uma área de 1.004,32 km². (MINEROPAR, 1999).

Em relação ao relevo, este apresenta um gradiente de 680 metros com altitudes variando entre 560 (mínima) e 1240 (máxima). As formas predominantes são os topos alongados e aplainados, as vertentes convexas e vales em "V", tal morfologia tem orientação predominante N-S e NW-SE, modelada em rochas do Complexo Gnáissico Migmatítico. (SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2010)

Ao se subdividir a região em compartimentos de acordo com seus aspectos morfológicos correlacionados com as litologias sobre as quais foram esculpidos, são observadas áreas, formada por regiões planas, onde afloram os sedimentos da Formação Guabirotuba, outras por colinas baixas e arredondadas, modeladas sobre

os migmatitos e as planícies aluviais do Rio Iguaçu e seus afluentes. (BIGARELLA, 1961, p. 81)

Há também a ocorrência de formações do Grupo Açungui, e os granitos intrudidos contemporâneos à movimentação de falhas transcorrentes, com idades em torno de 500 milhões de anos. (MINEROPAR 1999).

Ainda nesta formação pode-se observar a ocorrência de Diques Básicos Intrusivos, posteriores à tectônica pré-cambriana, muitos com extensões quilométricas. Incluem entre seus litótipos, diabásios, dioritos pórfiros e quartzo dioritos, sendo que os primeiros correspondem a rochas melanocráticas cinza-escuras e de granulação fina; os dioritos pórfiros possuem as mesmas características descritas, ocorrendo nos diques de maior espessura e acrescentando-se a presença de mega cristais centimétricos de plagioclásio em meio à matriz fina, textura esta bastante ressaltada quando este litótipo apresenta-se mais alterado. Tais formações integram os “enxames” de diques do Evento Sul-Atlântico, de idades mesozóicas. (SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL 2010)

Nos limites da bacia hidrográfica do Rio Verde se observa um conjunto de canais de escoamento inter-relacionados que formam a bacia de drenagem. Quanto ao padrão de drenagem segundo os critérios geométricos de Christofolletti (1974, p. 46), a disposição fluvial do Rio Verde se enquadra na classificação de drenagem dendrítica por apresentar-se semelhante a uma árvore, ou seja, é considerado arborescente devido ao seu formato, os depósitos de aluviões da bacia datam do Holoceno e predominam nas partes mais baixas e planas, formando pequenos terraços fluviais, ocupando grande área da bacia, principalmente próximo a sua foz. (MINEROPAR, 1999).

3.2.4 Solos

Características geológicas da rocha matriz, declividade, intemperismo e agentes biológicos influem e determinam quais tipos de solos serão formados. Desta forma observando a bacia do Rio Verde, esta de maneira geral encontra-se no embasamento granítico-cristalino do pré-cambriano, recoberto pela formação

guabirota do período holoceno, com sedimentos areno-silfítico-argiloso fluviais, tal embasamento somado as variações climáticas e biológicas na atual área da bacia do Rio Verde resultou nos seguintes tipos de solos, classificados de acordo com a EMBRAPA (1999): Latossolo Vermelho-Amarelo; Argissolo Vermelho-Amarelo; Hidromórfico Gleizado; Aluvial; Cambissolo e Orgânico.

Todos esses tipos de solos possuem características peculiares de adaptabilidade à mecanização e resistência à alteração de pH. Isso implica em diferentes sistemas de manejo e práticas conservacionistas específicas. (MINEROPAR, 2003).

Sobre a formação Guabirota, encontram-se distribuídos de uma maneira ampla em toda a região os latossolos vermelhos e vermelho-amarelos, os argilossolos vermelhos e vermelho-amarelos, e os Cambissolos, todos com características não hidromórficas. (Projeto Interdisciplinar de Pesquisa sobre a Eutrofização de Águas na Bacia do Rio Verde, 2008)

Nas planícies encontram-se os neossolos flúvicos, os organossolos Háplicos e os Gleissolos Melânicos e Háplicos, todos com elevado grau de hidromorfia, (EMBRAPA, 1999).

3.2.5 Vegetação

A região de Curitiba e arredores eram recobertos originalmente, pela Floresta Ombrófila Mista subdividida em Floresta Subtropical Perene, Floresta Subtropical de várzea e Campo Subtropical. IBGE (1992)

Especificamente na área de estudo nos locais de encosta, destacam-se dois tipos principais de vegetação, a natural remanescente: com formações secundárias de Floresta Ombrófila Mista, em vários estágios sucessionais, e os núcleos de campos limpos naturais: em diferentes graus de transformação, estando, em alguns setores, muito descaracterizados. (Projeto Interdisciplinar de Pesquisa sobre a Eutrofização de Águas na Bacia do Rio Verde, 2008)

Complementando este cenário, nas planícies junto aos rios da bacia, observa-se um complexo vegetacional diferenciado, adaptado as condições de

saturação hídrica (várzeas hidromórficas), denominada de formações pioneiras com influência Flúvio-lacustre (IBGE 1992), que conforme seu desenvolvimento pode ter fisionomia exclusivamente herbácea (campos higrófilos) ou com elementos arbóreos (*Erythrina crista-galli*, *Sebastiania spp*). (Projeto Interdisciplinar de Pesquisa sobre a Eutrofização de Águas na Bacia do Rio Verde, 2008)

Por fim em condições pedológicas específicas ocorre a Floresta Ombrófila Mista Aluvial (Florestas ripárias), onde o substrato é mais bem drenado, quando comparado ao das várzeas.

3.3 ASPECTOS SOCIO-ECONÔMICOS

Da população que reside na Bacia do Rio Verde o maior contingente encontra-se localizado no município de Campo Largo, onde os limites da bacia abrangem 8% de sua área. Os demais municípios, Campo Magro, Araucária e Balsa Nova contam com percentuais de população menores (quadro 03), porém não menos importantes, uma vez que partes urbanas do município de Campo Magro e áreas rurais significativas de Araucária estão inseridas na bacia do Rio Verde.

Município	Área total do município (km ²)	Área inserida na bacia de contribuição (Km ²)	Percentual(%) de área na bacia
Araucária	473,85	38,95	23,54
Balsa Nova	396,91	9,2	5,56
Campo Largo	1326,38	98,78	59,72
Campo Magro	262,49	18,50	11,18
Total	2459,63	165,43	100

Quadro 3 - ÁREA POR MUNICÍPIO.

FONTE: IBGE/ Projeto Interdisciplinar de Pesquisa sobre a Eutrofização de Águas na Bacia do Rio Verde (2008).

Segundo o relatório do Projeto Interdisciplinar de Pesquisa sobre a Eutrofização de Águas na Bacia do Rio Verde - Petrobras (2008), as propriedades da Bacia são na maioria exploradas com Mão - de - obra familiar em áreas inferiores a 20 ha. São agricultores tradicionais que estão nestas colônias a três gerações. As áreas envolvidas com agricultura recobrem 8.260 ha, subdivididas em aproximadamente 600 propriedades, abrangendo mais da metade da Bacia.

O Projeto Interdisciplinar de Pesquisa sobre a Eutrofização de Águas na Bacia do Rio Verde (2008) indica que há dificuldades na mudança de comportamento em relação à prática de conservação dos solos e águas, devido ao modelo europeu trazido pelos colonizadores que consiste no revolvimento periódico do solo e a maioria do maquinário agrícola existente é voltada para este manejo.

A predominância da população é de descendentes de poloneses com intensidade maior nos municípios de Campo Largo e Araucária, onde se localizam principalmente na porção norte da BR-277, esta região é caracterizada por uma topografia ondulada, vertentes curtas gerando um mosaico de pequenas propriedades segmentadas. No caso de Araucária existe o plantio direto em 60% da área cultivada principalmente no sistema milho/trigo/soja.

Os descendentes de italianos formam um grupo menor e concentram-se em Campo Largo, localizados próximos à estrada do Mato Grosso, trabalhando com culturas perenes e também obtendo renda não-agrícola.

Os investimentos industriais na região nos últimos 35 anos, principalmente no município de Araucária mudaram sobremaneira as características econômicas, ambientais e sociais, pois de uma região dominada por atividades econômicas ligadas a agricultura, observou-se principalmente em Araucária uma transformação para uma área urbanizada com forte pólo industrial, concentrado em indústrias metalúrgicas, madeireira, mobiliária, papel e celulose e com um destacado pólo petroquímico.

Colocado de maneira geral a região transformou seu sistema produtivo em um ritmo muito veloz em termos históricos. Mudanças deste tipo envolveram transformações consideráveis não só no meio ambiente, mas também nas atividades econômicas exploradas na região e nos modos que os agentes locais (trabalhadores, empresários, políticos e representante de outros interesses) se relacionem entre si. (Projeto Interdisciplinar de Pesquisa sobre a Eutrofização de Águas na Bacia do Rio Verde, 2008).

Nesta região a Petrobras construiu na década de 1970, dentro da bacia do Rio Verde, a barragem de mesmo nome que segundo dados da própria empresa possui um reservatório de 80km² de área com um volume médio de 96.000.000 m³, deste reservatório sai a adutora que abastece a Refinaria Getúlio Vargas em Araucária.

3.4 APA RIO VERDE – PR: DECRETO ESTADUAL Nº 2.375, DE 28 DE JULHO DE 2000

Segundo o Decreto Estadual Nº 2.375, de 28 de Julho de 2000, Publicado no Diário Oficial Nº 5795 de 31/07/2000, Áreas de Preservação Permanente, são áreas de configuração e tamanhos variáveis abrangentes a áreas terrestres e/ou marinhas, submetidas à modalidade de manejo diverso, podendo compreender ampla gama de paisagens naturais, seminaturais ou alteradas, com características notáveis e dotadas de atributos bióticos, estéticos ou culturais que exijam proteção para assegurar o bem-estar das populações humanas, conservar ou melhorar as condições ecológicas locais ou preservar paisagens, atributos naturais e culturais importantes.

A bacia hidrográfica do Rio Verde assumiu grande importância ao sistema de abastecimento de água de Curitiba, o que levou o Governo do Estado do Paraná, a criar a Área de Proteção Ambiental do Rio Verde, para garantir a qualidade da água da bacia. (Decreto Nº 2.375).

Assim a criação da APA do Rio Verde visa à proteção da natureza e a manutenção dos valores naturais e humanos, fazendo com que a maioria desta área se mantenha protegida para a sobrevivência humana, o objetivo principal é conservar a diversidade de ambientes, de espécies e de processos naturais pela adequação das atividades humanas às características ambientais da área, seus potenciais e limitações, (Decreto Nº 2.375).

Ao contrário de outras unidades de conservação, as APA's podem incluir terras de propriedade privada, não exigindo, portanto, a desapropriação de terras. Assim, uma APA não impede o desenvolvimento de uma região, permite a

manutenção das atividades humanas existentes e apenas orienta as atividades produtivas de forma a coibir a predação e a degradação dos recursos naturais.

O processo de implantação de uma APA envolve diversas etapas e procedimentos legais e técnicos. Sua simples criação, através de instrumento legal (lei, decreto, resolução ou portaria), constitui apenas o primeiro passo, que deve ser seguido pela regulamentação destas leis e decretos e pela implantação de um complexo sistema de gestão ambiental. Devem ser definidos criteriosamente os instrumentos gerenciais, como o zoneamento ambiental, o plano de gestão e os instrumentos fiscais e financeiros para garantir o cumprimento dos objetivos básicos da APA. (Decreto Nº 2.375).

Para efetivar esta proposta o Governo do Estado do Paraná utilizando os instrumentos legais constituídos nos termos da Lei Federal nº 6.902, de 27 de abril de 1981 e da Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentadas pelo Decreto Federal nº 99.274, de 06 de junho de 1990 e Resolução CONAMA nº 10, de 14 de dezembro de 1988; que Constitui a política regional de proteção ambiental e de ocupação do solo e regulamenta o uso e a ocupação das diversas atividades humanas de modo a assegurar a proteção, melhoria e recuperação da qualidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Verde e que deverá ter como norteador a potabilidade da água coletada para consumo da população da Região Metropolitana de Curitiba, onde cabe ao poder público definir potencialidades e restrições, que leve ao manejo correto da área, e seu uso e ocupação, é neste sentido que a Lei Federal Nº 12.726 determina:

I - a água é um bem de domínio público;

II - a água é um recurso natural limitado dotado de valor econômico;

III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;

IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;

V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Estadual de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

4 MATERIAL E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.

4.1 MATERIAL

4.1.1 Material Cartográfico

- Imagem do satélite SPOT, ano 2005, resolução 5 metros
- Cartas topográficas da Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba (COMEC), escala 1:10.000, ano 1976, total de 21 folhas;
- Fotografias aéreas coloridas – escala 1:30.000, Maio de 2000, Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.
- Ortofotos, coloridas, 1:10.000 da Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, 2000.
- Mapa de Uso do Solo da SUDERHSA, escala 1:20.000, ano 2000

4.1.2 Softwares e Equipamentos

- Sistema de Informação Geográfica ArcView 3.2, da ESRI
- Sistema de Informação Geográfica, IDRISI Andes, versão 15.00, do CLARK LABS, 2006
- Software de digitalização e edição para Sistema de informação Geográfica Cartalinx, do CLARK LABS, 2006

4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.2.1 Geração da Base de Dados

A confecção desta pesquisa se desenvolveu em três momentos distintos, o primeiro baseou-se em pesquisa bibliográfica e na obtenção de informações para as análises em laboratório o segundo no cruzamento e análise dos dados com o software IDRISI Andes, versão 15.00, (CLARK LABS, 2006), finalizado com a verificação em campo, para constatação dos resultados obtidos.

Inicialmente se realizou o levantamento e aquisição de dados geocodificados, que foram organizados, contendo os planos de informações com os dados ambientais básicos, descritos a seguir:

- 1 – Perímetro da área da bacia
- 2 – Uso e Cobertura Vegetal na Bacia do Rio Verde (2000)
- 3 – Rede de Drenagem

Do plano de informação básico Uso e Cobertura Vegetal na Bacia do Rio Verde – SUDERHSA, ano 2000, foram gerados cinco planos intermediários através de reclassificação dentro do IDRISI Andes, versão 15.00, (CLARK LABS, 2006), com o objetivo de se obter planos de informações que demonstrassem usos do solo que pudessem ocasionar risco ambiental à drenagem fluvial da bacia do Rio Verde. Os mesmos foram agregados a base de dados inicial:

- 1 – Áreas Industriais
- 2 – Áreas de Mineração
- 3 – Áreas de Solo Exposto
- 4 – Áreas Rurais
- 5 – Áreas Urbanas

Em posse destes planos de informações, básicos e intermediários, foram desenvolvidos dois processos distintos de análise o booleano e o Fuzzy para a verificação das áreas de risco ambiental na drenagem fluvial da bacia do Rio Verde.

Inicialmente através da rotina *DISTANCE* do IDRISI Andes, versão 15.00, (CLARK LABS, 2006) (capítulo 5) mensurou-se a área de abrangência de cada fator dentro da bacia, e posteriormente utilizando a lógica *Fuzzy* os fatores de risco (Áreas Industriais, Áreas de Mineração, Áreas de Solo Exposto, Áreas Rurais, e Áreas Urbanas) foram padronizados para uma escala de aptidão variando de 0 (maior risco) a 255 (menor risco).

Após reescalados os valores para uma escala contínua e igual nos cinco fatores de risco, estes puderam ser comparados e combinados, de maneira simples através de cruzamento direto entre os planos de informação tanto na análise Booleana, como na análise por múltiplos critérios.

Com os resultados obtidos nas duas análises, foi possível observar e destacar a áreas da drenagem fluviais mais suscetíveis a riscos ambientais na Bacia do Rio Verde.

A escala final do trabalho se deu em função da identificação de aspectos importantes no levantamento de risco dentro da bacia do Rio Verde como áreas industriais, de mineração, agrícolas urbanas e principalmente a rede de drenagem. Desta forma a escala foi definida em 1:20.000 Por último executou-se a atividade de campo para aferição dos resultados obtidos nas análises em laboratório.

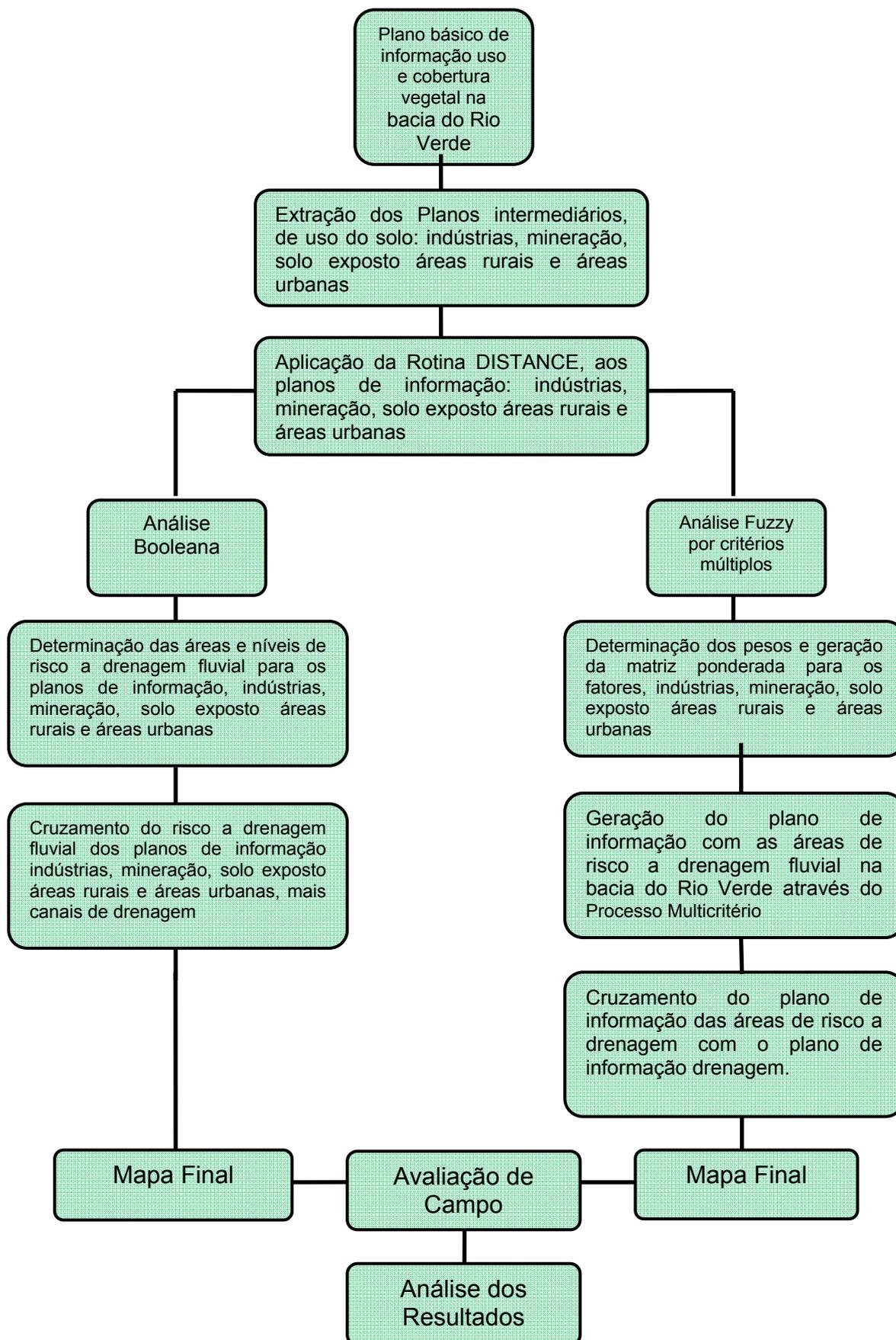


Figura 4 – Fluxograma da Metodologia
 FONTE: o Autor

4.3 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DAS VARIÁVEIS DE RISCO AMBIENTAL.

Para determinar as áreas de risco ambiental à drenagem fluvial na bacia do Rio Verde, foram utilizados cinco fatores (Áreas Industriais, Áreas de Mineração, Áreas de Solo Exposto, Áreas Rurais, e Áreas Urbanas), todos com relação direta ao uso do solo na bacia, tais planos de informação intermediários foram retirados do mapa base Uso e Cobertura Vegetal na Bacia do Rio Verde – SUDERHSA ano 2000 (figura 05), através do processo de reclassificação.

Os cinco planos de informações (Áreas Industriais, Áreas de Mineração, Áreas de Solo Exposto, Áreas Rurais, e Áreas Urbanas) serviram como base ao estudo de risco ambiental a bacia do Rio Verde e as demais análises desenvolvidas.

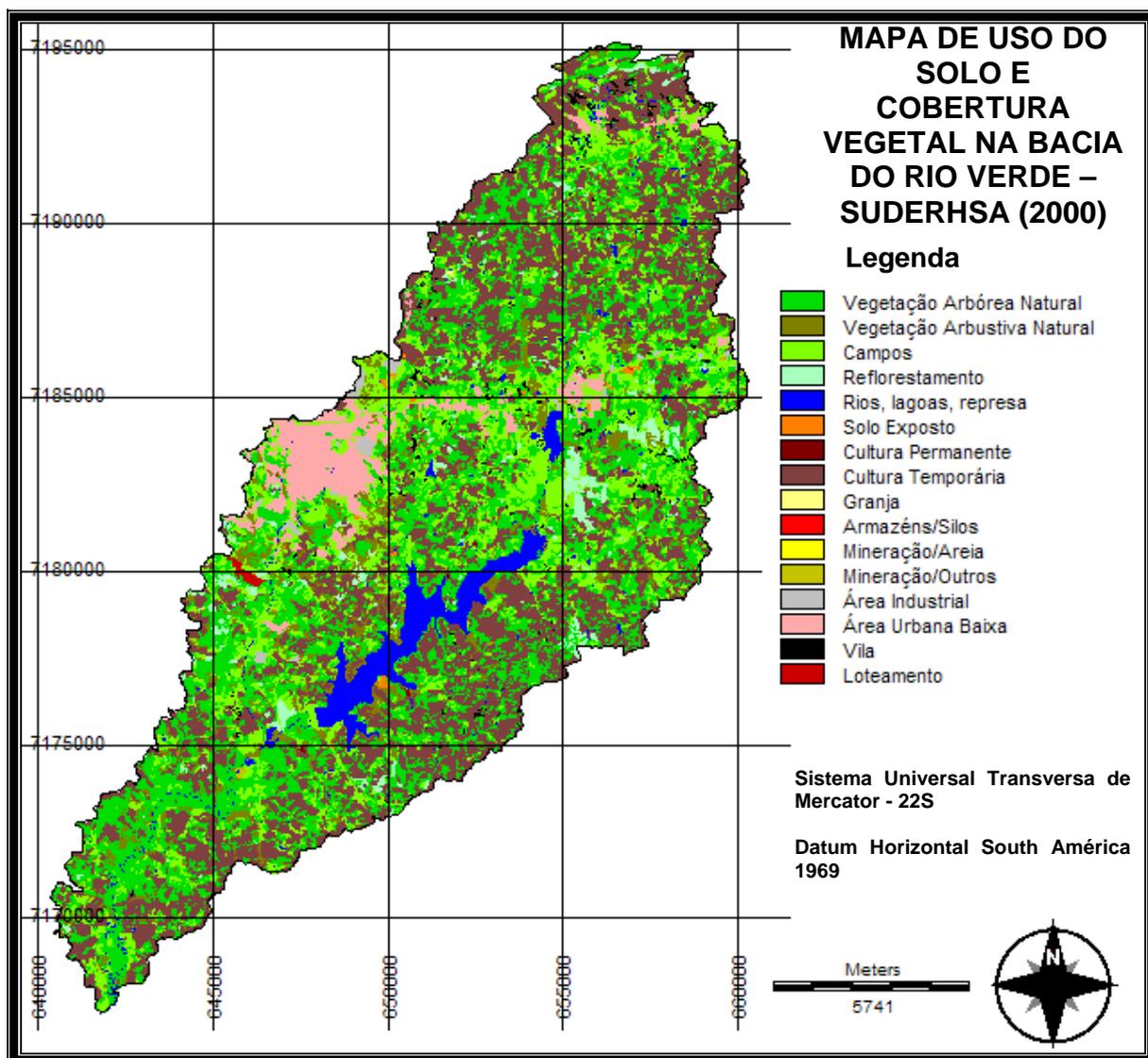


Figura 5 - MAPA DE USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL NA BACIA DO RIO VERDE

FONTE: Mapa de Uso e Cobertura do Solo da SUDERHSA ano 2000, utilizado no PROJETO RIO VERDE, pelo LAPIGEO do Departamento de Geografia da UFPR.

Tabela 1 - USO E COBERTURA VEGETAL NA BACIA DO RIO VERDE.

Legenda	Área (Hectares)	Área (%)
Vegetação Arbórea Natural	7579.79	31,240
Vegetação Arbustiva Natural	1287.38	5,380
Campos	4418.03	18,000
Reflorestamento	572.15	2,390
Rios, lagoas, represa	957.13	5,030
Solo Exposto	46.84	0,190
Cultura Permanente	8.50	0,030
Cultura Temporária	7704.83	32,237
Granja	4.54	0,020
Armazéns/Silos	3.56	0,010
Mineração/Areia	0.75	0,003
Mineração/Outros	10.10	0,040
Área Industrial	114.18	0,470
Área Urbana	979.46	4,100
Vila	175.50	0,730
Loteamento	31.61	0,130
Total	23894,35	100,000

FONTE: Mapa de Uso e Cobertura do Solo da SUDERHSA ano 2000, utilizado no PROJETO RIO VERDE, pelo LAPIGEO do Departamento de Geografia da UFPR. Adaptado pelo autor (2010).

Observando a tabela 01, percebe-se que existem dois tipos de uso e cobertura predominantes na bacia do Rio Verde, o primeiro com 57,010% de recobrimento da bacia é a cobertura vegetal que se distribui de maneira heterogênea na bacia, com exceção apenas na partes localizadas na sede do município de Campo Largo e nas margens da BR-277, esta categoria engloba a Vegetação Arbórea Natural, a Vegetação arbustiva Natural, Campos e Reflorestamento, o segundo com 32,297% são as áreas consideradas rurais, formadas pela soma dos

fatores, cultura permanente, cultura temporária, granja e armazéns/silos, possui uma distribuição marcante nos quadrantes norte, leste e sul, apenas na parte oeste onde se localiza a parte urbana do município de Campo Largo observa-se menor uso do solo como área rural. Os demais usos do solo se dividem entre áreas industriais (0.470%) dispersas ao longo da BR 277 na parte central da bacia, áreas de mineração (0.043%) representada pela soma dos usos mineração/areia, mineração/outros, localizam-se apenas em três áreas dispersas na bacia. As áreas de solo exposto (0.190%) aparecem em vários pontos dispersos na bacia, as áreas urbanas (4.960%) que agregam os fatores área urbana, vila e loteamento, estão distribuídos na parte oeste da bacia na sede do município de Campo Largo, na parte central em uma faixa paralela a BR-277 e bem ao norte da bacia em bairros e vilas do município de Campo Magro, finalmente as lagoas/represas/rios recobrem 5,030% da bacia estão dispersa na parte sul ao longo do canal do Rio Verde e ao norte possuem uma distribuição mais homogênea e na parte central da bacia localiza-se o lago da represa do Rio Verde.

4.3.1 Plano de Informação das Áreas Industriais na Bacia do Rio Verde

Através do processo de reclassificação (ferramenta RECLASS do IDRISI Andes, versão 15.00, (CLARK LABS, 2006)) utilizou-se o mapa base Uso do Solo e Cobertura Vegetal na Bacia do Rio Verde – SUDERHSA (2000), figura 05, para se extrair apenas as áreas identificadas como áreas industriais (áreas em vermelho da figura 06) obtendo-se desta forma de maneira isolada as áreas com a localização das indústrias na Bacia do Rio Verde.

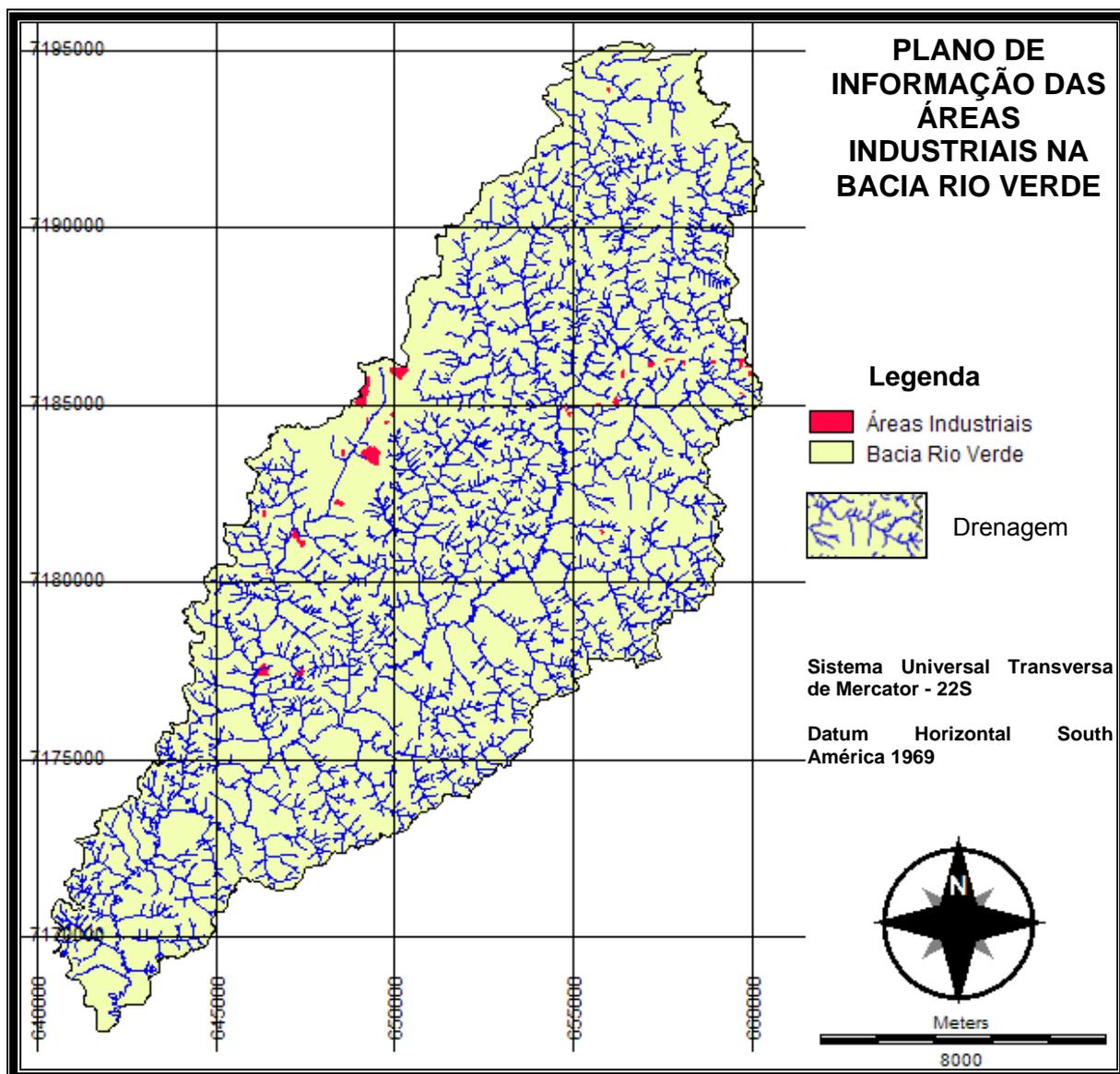


Figura 6 - Plano de Informação das Áreas Industriais

FONTE: Mapa de Uso e Cobertura do Solo da SUDERHSA ano 2000, utilizado no PROJETO RIO VERDE, pelo LAPIGEO do Departamento de Geografia da UFPR. Adaptado pelo autor (2010).

Tabela 2 - ÁREAS INDUSTRIAIS NA BACIA DO RIO VERDE

Legenda	Área (Hectares)	Área (%)
Áreas Industriais	114.18	0,47
Bacia Rio Verde (outras áreas)	23780.17	99,53
Total	23894.35	100,00

FONTE: Mapa de Uso e Cobertura do Solo da SUDERHSA ano 2000, utilizado no PROJETO RIO VERDE, pelo LAPIGEO do Departamento de Geografia da UFPR. Adaptado pelo autor (2010).

4.3.2 Plano de Informação das Áreas de Mineração na Bacia do Rio Verde

Ocupando pequenas e pontuais porções na bacia do Rio Verde (0,043% da área), estas foram extraídas do mapa base (figura 05), agregando as categorias Mineração/Areia e Mineração/outros, tal categoria recebeu a nomenclatura de “áreas de mineração” para auxiliar no desenvolvimento das análises booleana e Fuzzy. A reclassificação deste fator pode ser observada a seguir na figura 07.

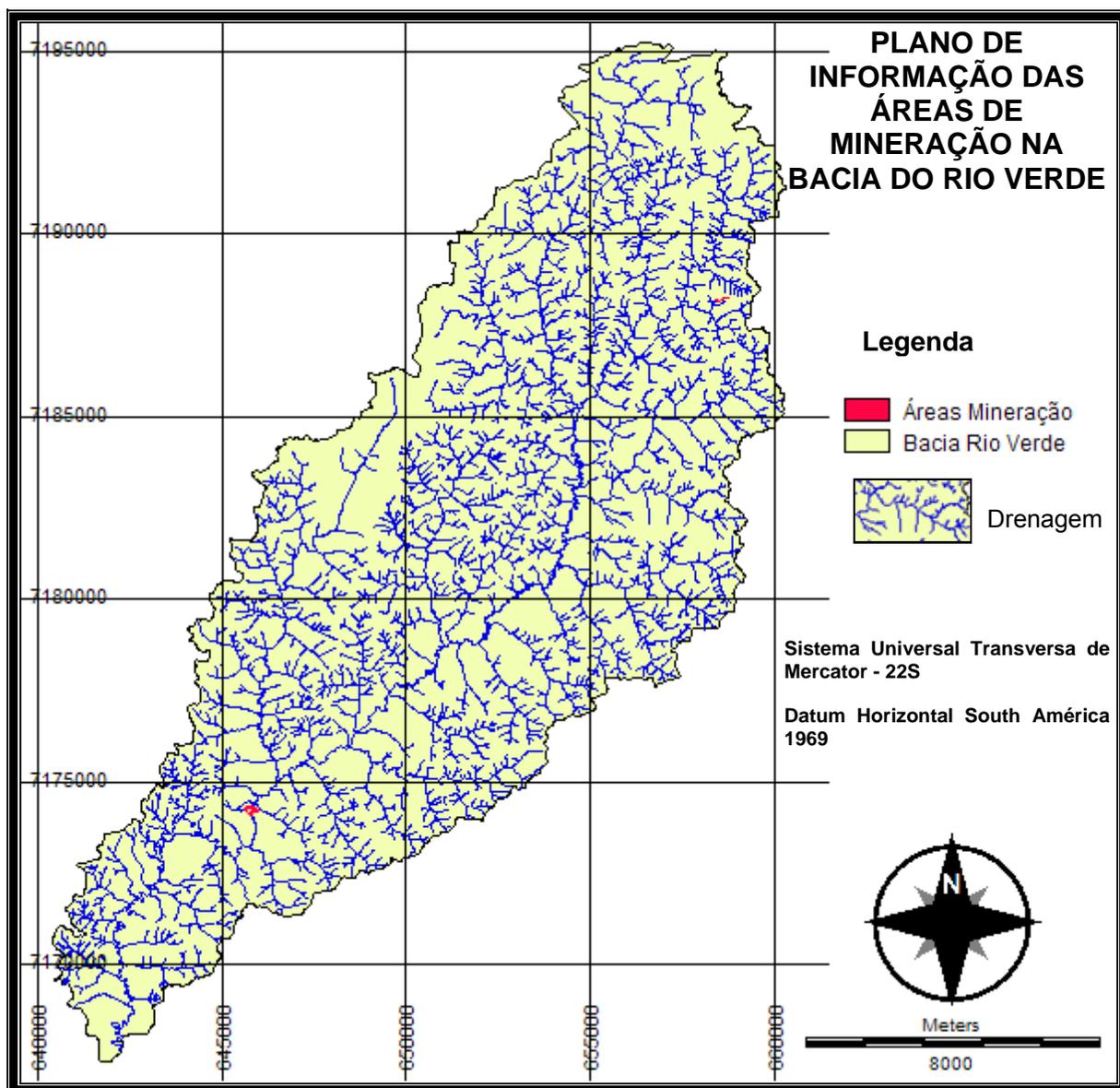


Figura 7 - Plano de Informação das Áreas de Mineração na Bacia do Rio Verde

FONTE: Mapa de Uso e Cobertura do Solo da SUDERHSA ano 2000, utilizado no PROJETO RIO VERDE, pelo LAPIGEO do Departamento de Geografia da UFPR. Adaptado pelo autor (2010).

Tabela 3 - ÁREAS DE MINERAÇÃO NA BACIA DO RIO VERDE

Legenda	Área (Hectares)	Área (%)
Áreas Mineração	10.85	0.043
Bacia Rio Verde (outras áreas)	23883.50	99,957
Total	23894.35	100,000

FONTE: Mapa de Uso e Cobertura do Solo da SUDERHSA ano 2000, utilizado no PROJETO RIO VERDE, pelo LAPIGEO do Departamento de Geografia da UFPR. Adaptado pelo autor (2010).

4.3.3 Plano de Informação das Áreas de Solo Exposto na Bacia do Rio Verde

Com representação discreta em relação a outros fatores e área de abrangência na bacia, com apenas 46,85 ha, a categoria “solo exposto” foi elencada como um dos cinco fatores utilizados na avaliação dos riscos ambientais na Bacia do Rio verde.

Como as demais categorias anteriores, esta também foi extraída do mapa base (figura 05), e caracterizado como um fator de risco (figura 08) nas duas análises (Booleana e Fuzzy) desenvolvidas na bacia do Rio Verde.

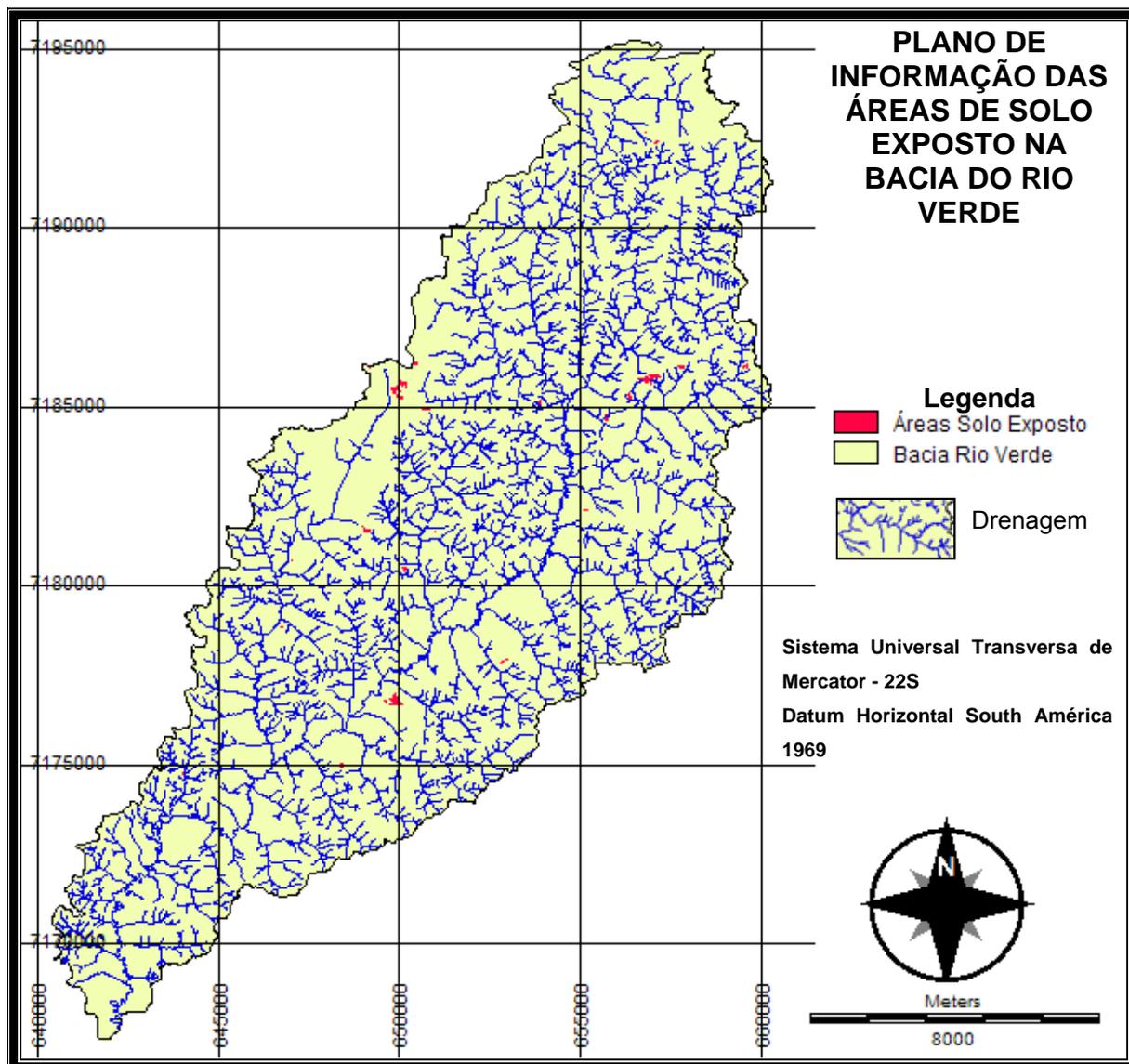


Figura 8 - Plano de Informação das Áreas de Solo Exposto na Bacia do Rio Verde

FONTE: Mapa de Uso e Cobertura do Solo da SUDERHSA ano 2000, utilizado no PROJETO RIO VERDE, pelo LAPIGEO do Departamento de Geografia da UFPR. Adaptado pelo autor (2010).

Tabela 4 - ÁREAS DE SOLO EXPOSTO NA BACIA DO RIO VERDE

Legenda	Área (Hectares)	Área (%)
Áreas Solo Exposto	46.85	0,19
Bacia Rio Verde (outras áreas)	23847.50	99,81
Total	23894,35	100,00

FONTE: Mapa de Uso e Cobertura do Solo da SUDERHSA ano 2000, utilizado no PROJETO RIO VERDE, pelo LAPIGEO do Departamento de Geografia da UFPR. Adaptado pelo autor (2010).

4.3.4 Plano de Informação das Áreas Rurais na Bacia do Rio Verde

Representando a maior área de abrangência e incidência a risco ambiental e de contaminação a drenagem fluvial na Bacia do Rio verde o critério “áreas rurais” (figura 09), é o maior e mais representativo no estudo (tabela 01), da mesma forma que os demais fatores, este foi extraído do mapa base (figura 05) agregando os seguintes usos do solo: Cultura permanente, Cultura temporária, granjas, Armazéns/Silos.

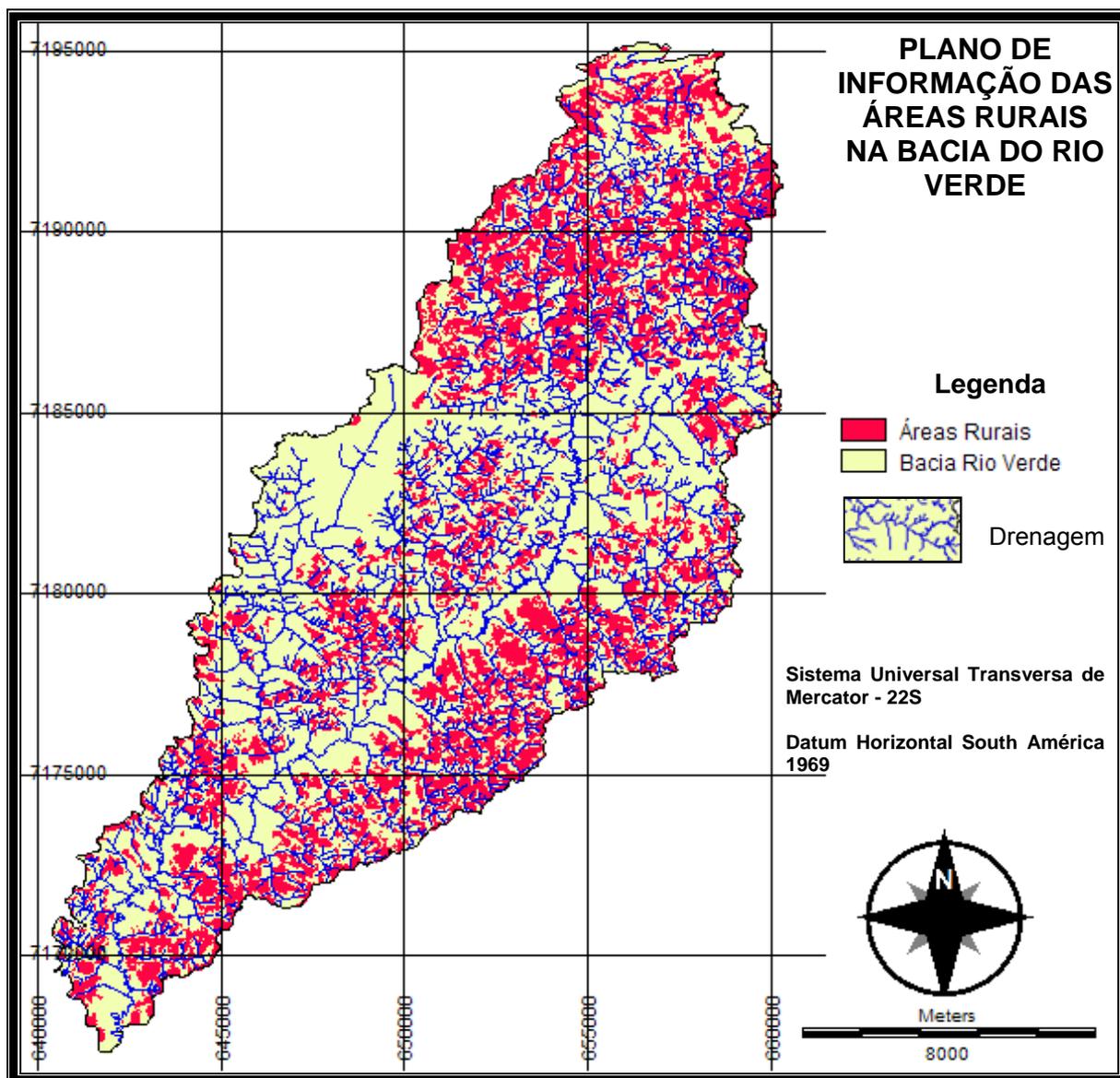


Figura 9 - Plano de Informação das Áreas Rurais na Bacia do Rio Verde
FONTE: Mapa de Uso e Cobertura do Solo da SUDERHSA ano 2000, utilizado no PROJETO RIO VERDE, pelo LAPIGEO do Departamento de Geografia da UFPR. Adaptado pelo autor (2010).

Tabela 5 - ÁREAS RURAIS NA BACIA DO RIO VERDE

Legenda	Área (Hectares)	Área (%)
Áreas Rurais	7717.86	32,297
Bacia Rio Verde (demais áreas)	16175,49	67,703
Total	23894.35	100,000

FONTE: Mapa de Uso e Cobertura do Solo da SUDERHSA ano 2000, utilizado no PROJETO RIO VERDE, pelo LAPIGEO do Departamento de Geografia da UFPR. Adaptado pelo autor (2010).

4.3.5 Plano de Informação das Áreas Urbanas na Bacia do Rio Verde

Finalmente às áreas classificadas como urbanas constituem o último fator para avaliação de risco ambiental na Bacia do Rio verde, neste fator foram extraídos e agregados através de reclassificação três diferentes tipos de uso urbano do solo do mapa base (figura 05), as áreas urbana, vilas e os loteamentos. Tais fatores formam o fator de risco, Áreas urbanas (figura 10).

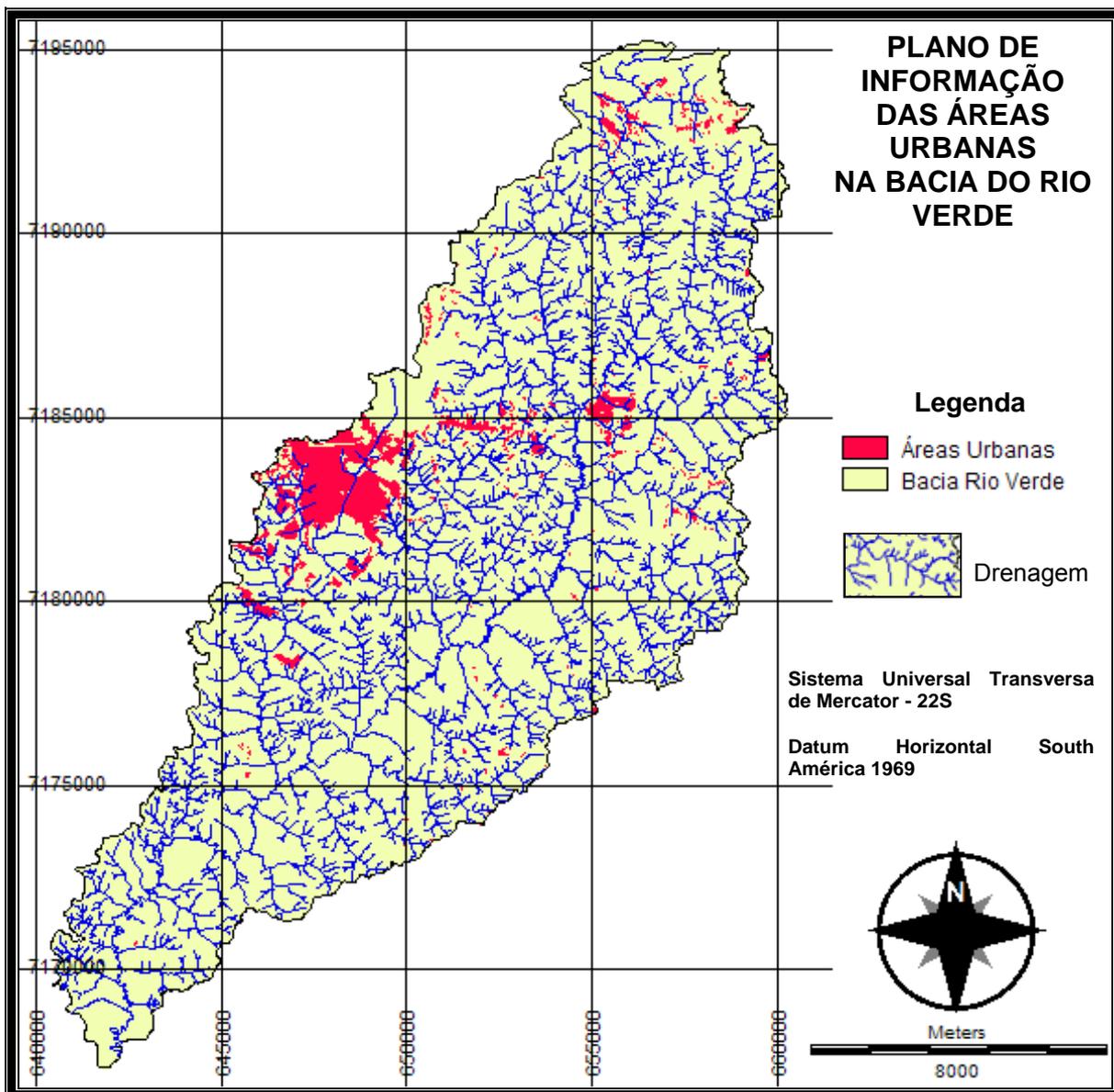


Figura 10 - Plano de Informação das Áreas Urbanas na Bacia do Rio Verde

FONTE: Mapa de Uso e Cobertura do Solo da SUDERHSA ano 2000, utilizado no PROJETO RIO VERDE, pelo LAPIGEO do Departamento de Geografia da UFPR. Adaptado pelo autor (2010).

Tabela 6 - ÁREAS URBANAS NA BACIA DO RIO VERDE

Legenda	Área (Hectares)	Área (%)
Áreas Urbanas	1186,56	4,96
Bacia Rio Verde (outras áreas)	22707,79	95,04
Total	23894,35	100,00

FONTE: Mapa de Uso e Cobertura do Solo da SUDERHSA ano 2000, utilizado no PROJETO RIO VERDE, pelo LAPIGEO do Departamento de Geografia da UFPR. Adaptado pelo autor (2010).

5 DETERMINAÇÃO DA ABRANGÊNCIA DAS ÁREAS DE RISCO A DRENAGEM FLUVIAL NA BACIA DO RIO VERDE

Após determinar e extrair os cinco fatores de risco ambiental (Áreas Industriais, Áreas de Mineração, Áreas de Solo Exposto, Áreas Rurais, e Áreas Urbanas) utilizou-se a rotina *DISTANCE* do software IDRISI Andes, versão 15.00, (CLARK LABS, 2006), para cada fator de risco, obtendo as respectivas áreas de influência dentro da bacia para cada fator.

Neste procedimento para determinar quais as áreas mais afetadas (mais próximas ao fator de risco) e quais as menos afetadas (mais distante do fator de risco), a rotina *DISTANCE*, aferiu através de uma equação euclidiana, à distância em linha reta, entre cada célula e sua proximidade de um conjunto caracterizado como alvo (fator), o resultado pode ser observado a seguir nos planos de informação representados pelos itens 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 e 5.5.

5.1 Plano de Informação *Distance* das Áreas Industriais

Observando o Plano de Informação *Distance* das Áreas Industriais (figura 11) é possível notar que as áreas de maior influência de tal fator de risco, se localizam próximas a dois pontos específicos da bacia, a primeira na parte leste pouco acima do centro da bacia, localizada as margens das BR-277, e a outra na parte central-oeste localizado na sede do município de Campo Largo.

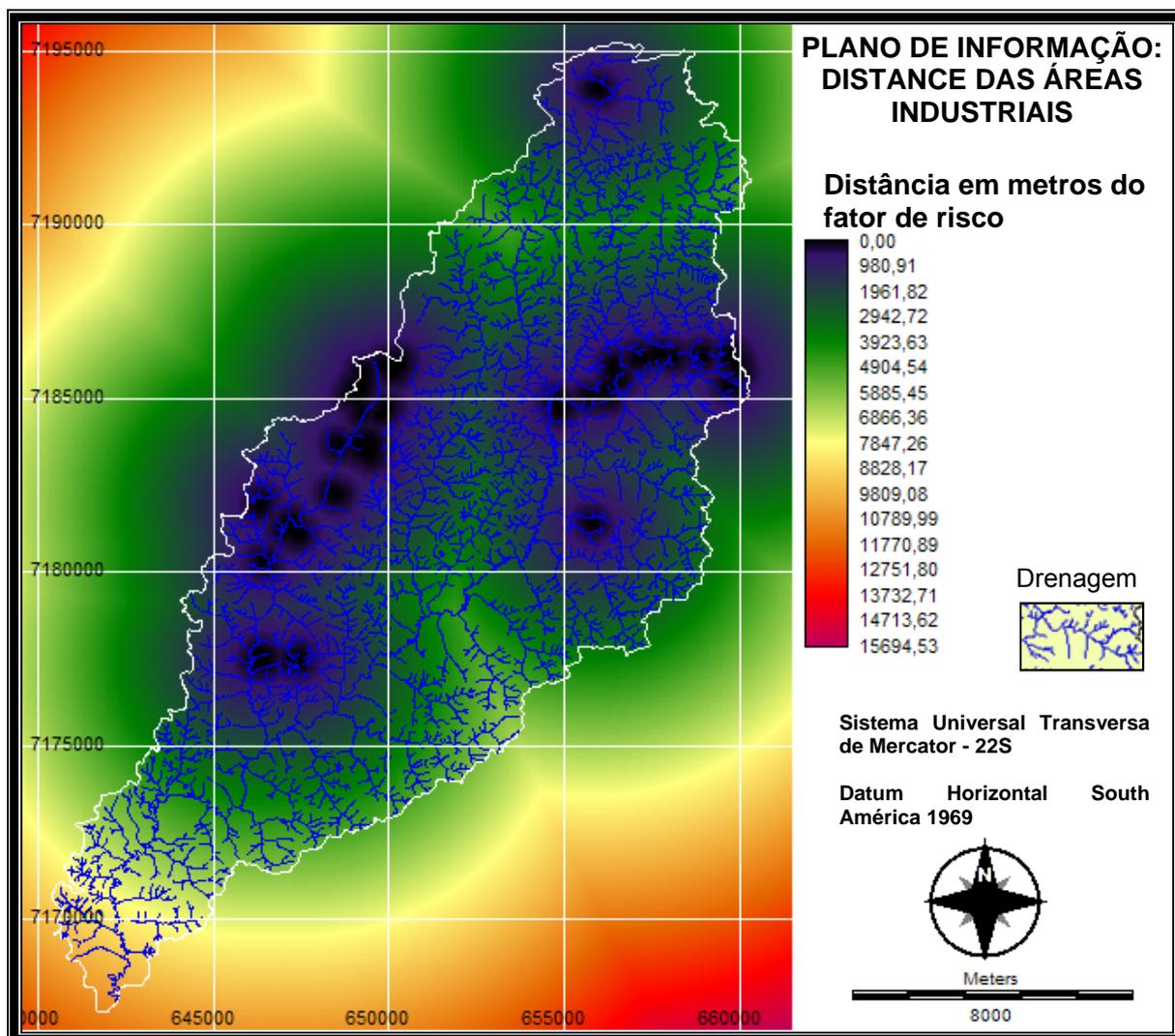


Figura 11 - Plano de Informação Distance das Áreas Industriais
FONTE: o autor (2010)

5.2 Plano de Informação *Distance* das Áreas de Mineração

Analisando o Plano de Informação *Distance* das Áreas de Mineração na bacia do Rio Verde (figura 12), se observa que estas são pontuais e afastadas umas das outras, desta forma pode-se localizar uma área que sofre influência pela extração de areia próximo ao limite nordeste da bacia, e outras duas ao sul após a barragem na parte mais conservada da bacia do Rio Verde.

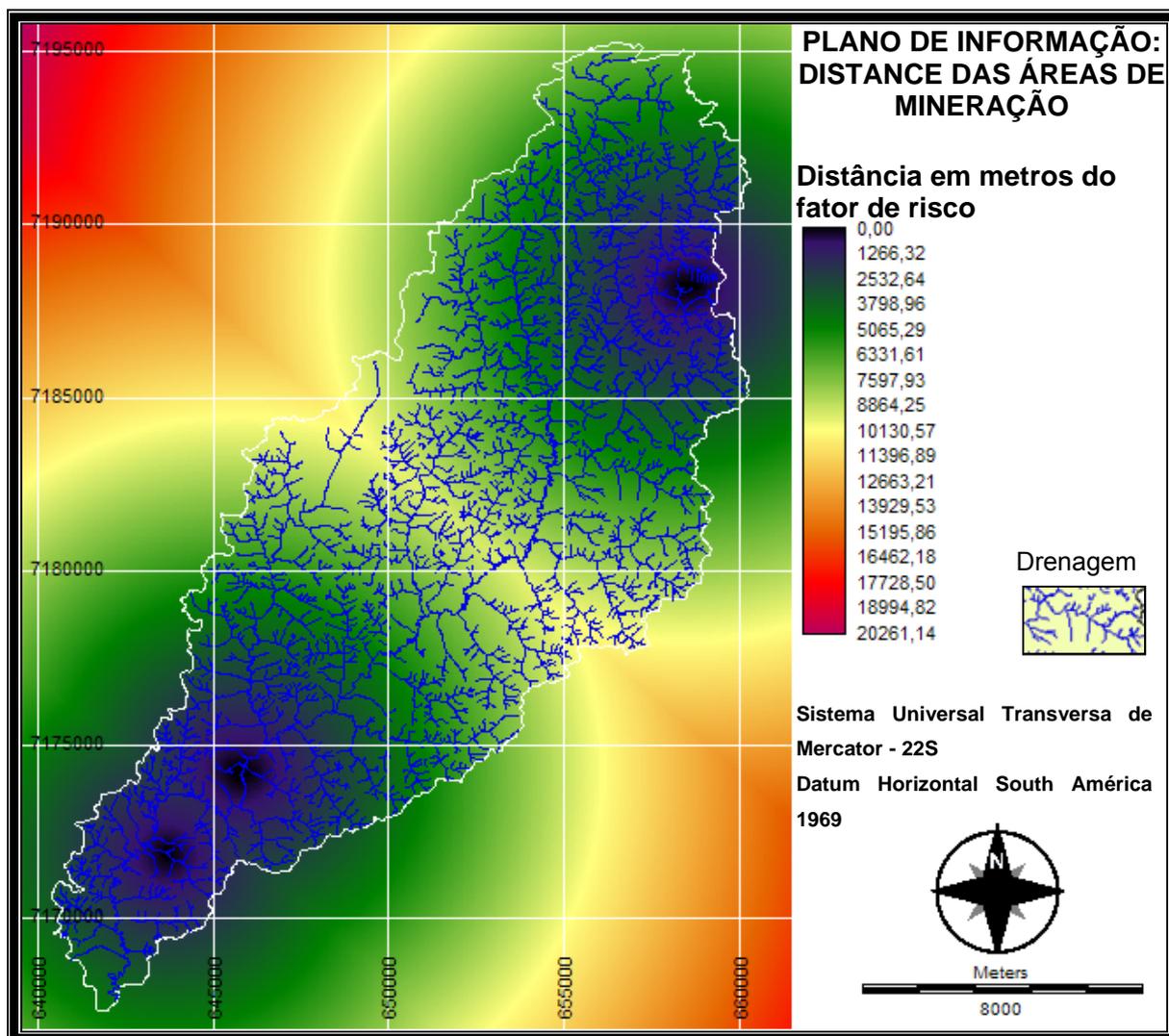


Figura 12 - Plano de Informação Distance das Áreas de Mineração
FONTE: o autor (2010)

5.3 Plano de Informação *Distance* das Áreas de Solo Exposto

Avaliando o Plano de Informação *Distance* das Áreas de Solo Exposto (figura 13), percebe-se que o fator de risco áreas com solo exposto está disposto em vários setores dentro da bacia, com ocorrência mais intensa nas partes centrais desta, há apenas duas áreas, uma localizada ao sul e a outra representada por uma faixa ao norte com menos influência do fator de risco.

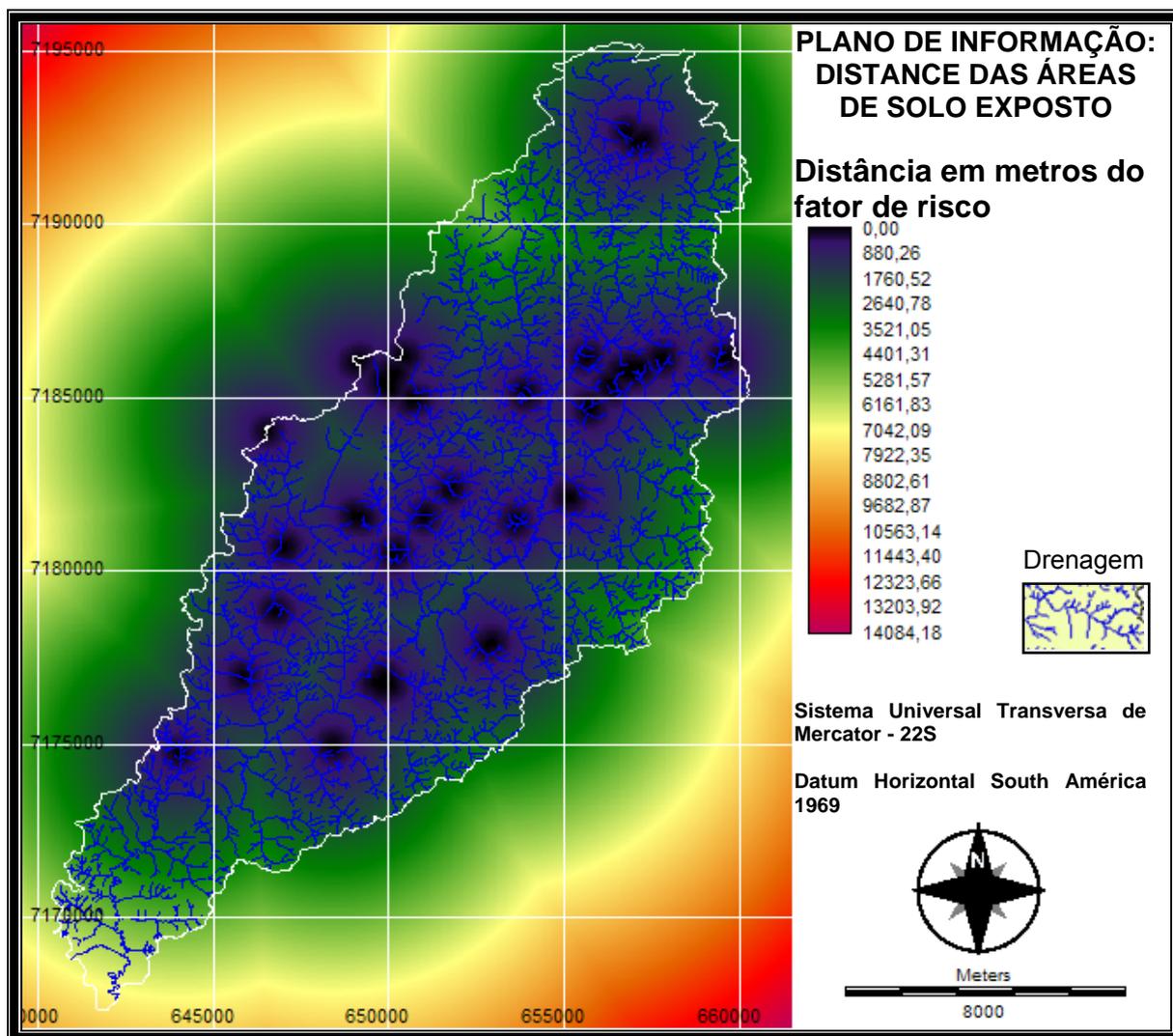


Figura 13 - Plano de Informação Distance das Áreas de Solo Exposto
FONTE: o autor

5.4 Plano de Informação *Distance* das Áreas Rurais

Analisando o Plano de Informação *Distance* das Áreas Rurais (figura 14), nitidamente se observa que este é o fator de risco que recobre maior área dentro da bacia do Rio Verde. Em tal plano de informação é possível notar intensa influência do fator de risco nos quadrantes norte, sul e leste da bacia, porém no quadrante oeste apenas na parte central, se verifica menor incidência devido nesta região se localizar a sede do município de Campo Largo (intensamente urbanizado), há também uma pequena faixa na parte central que a incidência do fator também é

menor devido que nesta área se localiza a BR-277 que corta a bacia, no sentido leste-oeste.

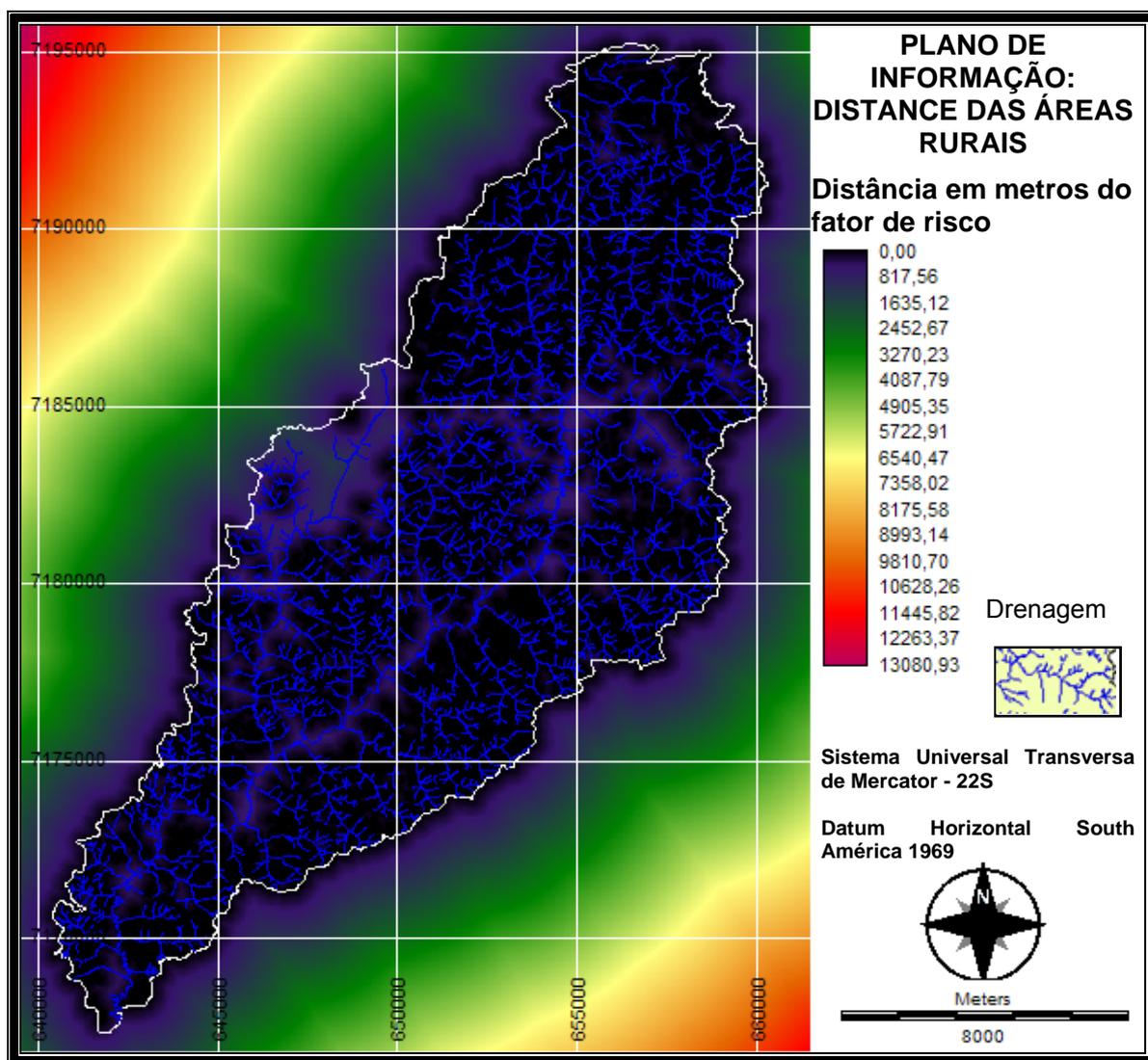


Figura 14 - Plano de Informação Distance das Áreas Rurais
FONTE: o autor

5.5 Plano de Informação *Distance* das Áreas Urbanas

Observando o Plano de Informação *Distance* das Áreas Urbanas (figura 15), é possível observar três áreas com maior proximidade ao fator áreas urbanas, a mais

incisiva se localiza a oeste da bacia na parte central, pois neste local se encontra a sede do município de Campo Largo, a segunda é a faixa que atravessa no sentido leste-oeste a bacia na parte central esta região possui áreas bastante urbanizadas, localizadas no entorno da BR-277 que faz a ligação dos municípios de Campo Largo e Curitiba, a terceira se encontra bem ao norte da bacia em bairros do município de Campo Magro. Há ainda outras áreas menores distribuídas por quase toda a bacia formadas por pequenas colônias como a Mariana na região sudoeste, Cristina a sudeste e a Figueiredo a noroeste da bacia do Rio Verde.

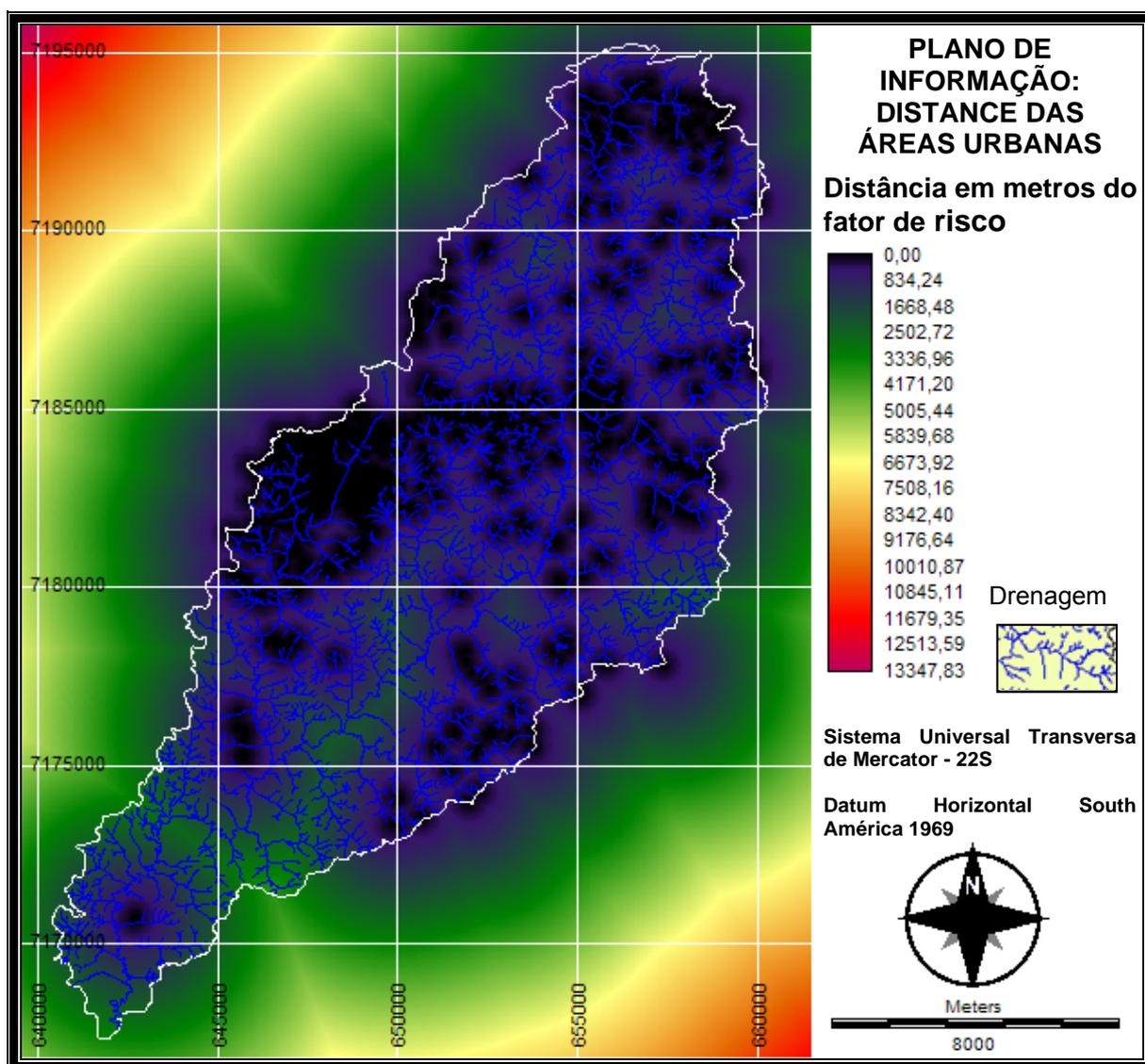


Figura 15 - Plano de Informação Distance das Áreas Urbanas
 FONTE: o autor (2010)

Desta forma após executar a rotina *DISTANCE*, foi necessário atribuir as distâncias para as áreas de abrangência de cada fator observando a relação de seu potencial de degradação ou contaminação a drenagem fluvial na bacia. Para as distâncias atribuídas a cada fator se considerou os critérios que foram descritos nos itens 2.7.1, 2.7.2, 2.7.3, 2.7.4 e 2.7.5, pois cada um dos fatores possui um potencial diferente de contaminação.

Sánchez (2008, p. 115) afirma que esse tipo de decisão requer muitas análises e consultas, portanto deve buscar profissionais especializados em áreas do conhecimento ligada aos impactos ambientais a fim de definir os parâmetros necessários, pois não há valores de distância definitivos em análises de risco ambiental, desta forma é preciso buscar consenso interdisciplinar, ou um valor atribuído pelo pesquisador em relação ao seu objeto de estudo que seja aceitável.

Portanto para as análises do risco ambiental na Bacia do Rio Verde se utilizou os valores descritos a seguir na Tabela 07, tais valores foram definidos em testes realizados com diferentes raios de influência para cada fator, além destes testes foram observados parâmetros como as características do risco ambiental de cada fator, descritos no referencial teórico (itens 2.7.1, 2.7.2, 2.7.3, 2.7.4 e 2.7.5). Desta forma foram selecionados os raios de abrangência para cada fator, tais raios não representam parâmetros utilizados dentro de levantamentos ambientais anteriores ou baseados em alguma publicação científica na área de estudos ambientais, apenas foram testados na busca que estes fossem o mais adequado possível em relação à metodologia proposta nesta pesquisa

Tabela 7 - ÁREAS DE INFLUÊNCIA DOS FATORES DE RISCO

Fator de Risco	Raio de Influência (m)
Área Industrial	1000
Área Mineração	1000
Área Solo Exposto	500
Área Rural	200
Área Urbana	500

FONTE: Análise do risco individual de cada fator em laboratório pelo autor (2010).

5.6 PADRONIZAÇÃO FUZZY

A padronização *Fuzzy* tem por finalidade colocar todas as imagens das variáveis consideradas na análise em uma mesma escala, para tornar possível a integração de todos os dados em ambiente de geoprocessamento (SOUZA, *et al*, 2005, p. 142).

Cada um dos planos de informação gerados nos itens 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3, 4.3.4 e 4.3.5 possuem distâncias específicas, de seu fator de risco, (Tabela 07). Por exemplo, nas Áreas Rurais a distância máxima de influência de risco é 200m do fator, enquanto nas áreas industriais a distância é de 1000 metros, optando pela rotina *Fuzzy*, pode-se criar uma tabela escalonada (crescente ou decrescente) que represente a variação dos valores para cada variável, durante este processo é feita uma reclassificação das imagens obtendo-se uma escala contínua de níveis que variam de 0 a 255. No caso desta pesquisa níveis com valores baixos, ou próximos a zero representam áreas próximas aos fatores de risco e níveis com valores mais altos, ou próximos a 255 indicam áreas distantes aos fatores de risco.

Desta forma ao final da padronização *Fuzzy* todas as imagens estão com uma classificação única, ou seja, todas dentro de uma mesma escala, variando de 0 a 255, possibilitando realizar a integração dos planos de informação para gerar os mapas de risco.

Importante observar que a função selecionada que reclassificou as distâncias dos fatores de risco que estavam em metros para níveis (variando de 0 a 255), foi a “sigmoidal crescente”, este tipo de função (figura 16), é a mais comumente usada em teoria dos conjuntos *Fuzzy*. Esta é obtida através de uma função cosseno, onde se entra com valor do ponto de controle “a” e delimita-se o ponto de controle “b”, por exemplo, para o plano de informação Padronização pelo Método *Fuzzy* das Áreas Rurais (figura 20) o ponto “a” é igual a 0m e o ponto limite é igual a 200m, desta forma a função *fuzzy* distribui o intervalo de 0m a 200m em 255 níveis.

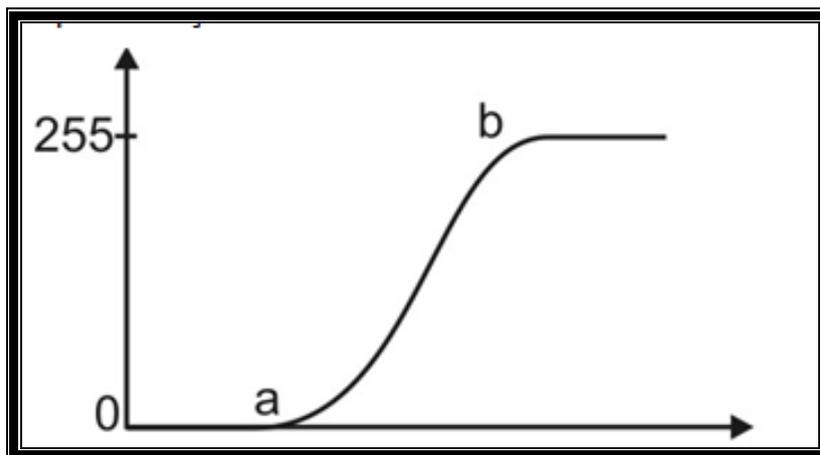


Figura 16 - FUNÇÃO SIGMOIDAL S-SHAPE.

FONTE: Software IDRISI Andes, versão 15.00, (CLARK LABS, 2006), atividade em laboratório. Adaptado pelo autor (2010)

Desta forma a padronização *Fuzzy*, foi aplicada a todos os fatores (Áreas Industriais, Áreas de Mineração, Áreas de Solo Exposto, Áreas Rurais e Áreas Urbanas), respeitando seus raios de influência (tabela 07), classificando todos em uma escala contínua, o que possibilitou a integração dos fatores nas análises booleanas e *Fuzzy*. Tais procedimentos são descritos a seguir de maneira mais elaborada nos itens 5.6.1, 5.6.2, 5.6.3, 5.6.4 e 5.6.5

5.6.1 Plano de Informação da Padronização Pelo Método *Fuzzy* das Áreas Industriais

Depois de executada a padronização *Fuzzy*, pode-se observar no plano de informação padronização pelo método *Fuzzy* das áreas industriais (figura 17), a respectiva abrangência dentro da bacia do fator áreas industriais, com mil metros de raio a partir do fator de risco, tais áreas se localizam principalmente nas partes centrais, a oeste junto ao município de Campo Largo, e a leste em uma faixa no entorno da BR – 277, sentido Curitiba.

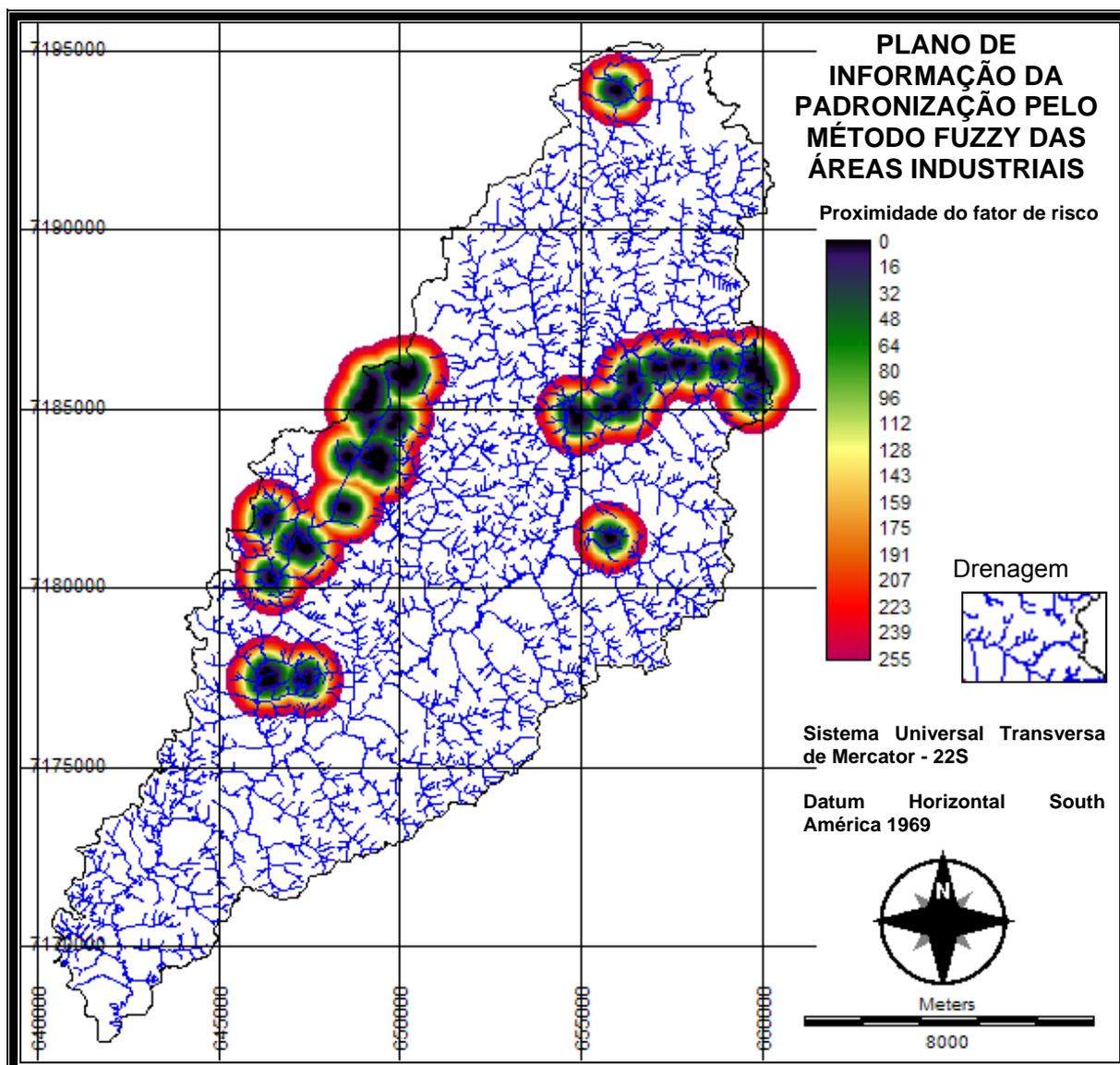


Figura 17 - Plano de Informação da Padronização Pelo Método Fuzzy das Áreas Industriais
FONTE: o autor (2010)

5.6.2 Plano de Informação da Padronização Pelo Método *Fuzzy* das Áreas de Mineração

Observando o Plano de Informação Padronização Pelo Método *Fuzzy* das Áreas de Mineração (figura 18), após a aplicação da padronização Fuzzy, pode-se notar apenas três áreas de mineração (com um raio de mil metros) dispersas, sendo uma localizada a nordeste e outras duas no sul da bacia do Rio Verde.

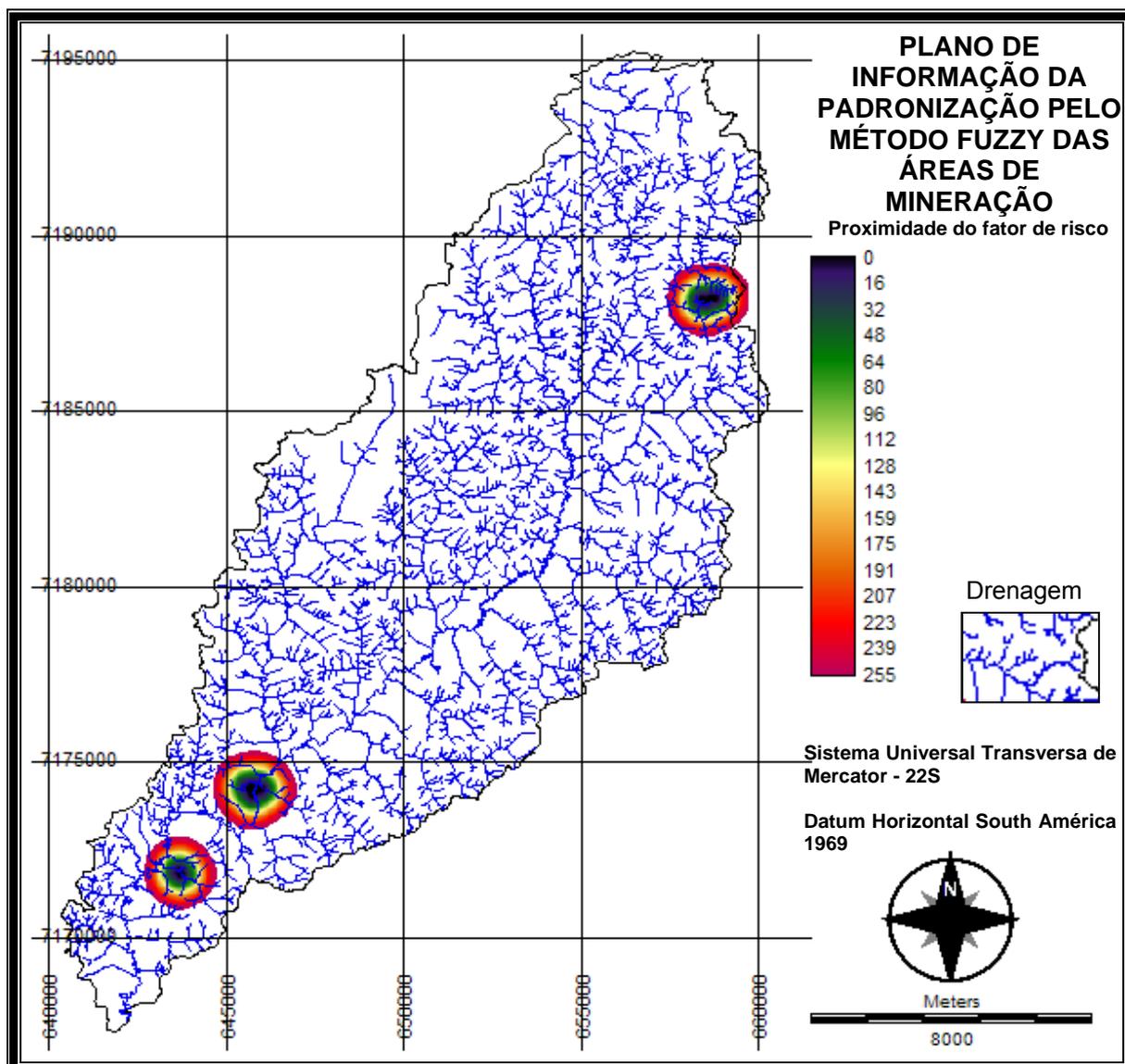


Figura 18 - Plano de Informação da Padronização Pelo Método Fuzzy das Áreas de Mineração
 FONTE: o autor (2010)

5.6.3 Plano de Informação da Padronização Pelo Método *Fuzzy* das Áreas de Solo Exposto

Analisando o Plano de Informação Padronização Pelo Método *Fuzzy* das Áreas de Solo Exposto (figura 19), observa-se distribuição desta de maneira mais heterogênea nas partes centrais da bacia. Depois de aplicada a padronização Fuzzy, o raio de abrangência do fator de risco ficou restrito a quinhentos metros para as áreas de solo exposto na bacia do Rio Verde.

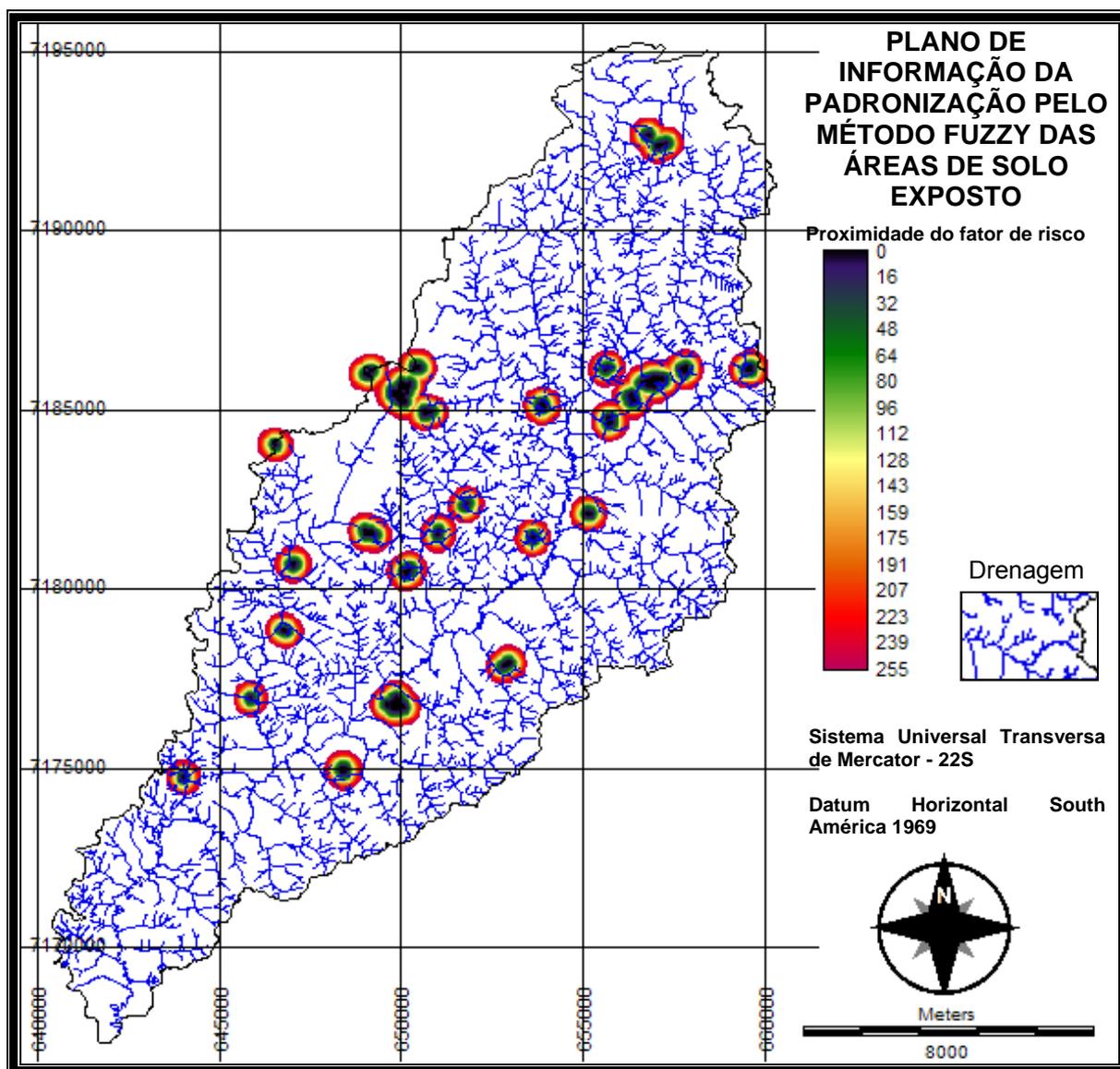


Figura 19 - Plano de Informação da Padronização Pelo Método *Fuzzy* das Áreas de Solo Exposto

FONTE: o autor (2010)

5.6.4 Plano de Informação da Padronização Pelo Método *Fuzzy* das Áreas Rurais

Observando o Plano de Informação Padronização Pelo Método *Fuzzy* das Áreas Rurais (figura 20), é possível notar que após a aplicação da padronização *Fuzzy* que estabeleceu um raio de abrangência de duzentos metros para o fator de risco, que a maioria das áreas da bacia está sob a incidência deste fator de risco.

Apenas áreas na sede do município de Campo largo, na parte central-oeste da bacia, a faixa de leste-oeste que corta a bacia margeando a BR-277 e a faixa que segue no sentido norte-sul do canal do Rio Verde (nesta área se localiza o lago da represa do Rio Verde) estão fora das áreas de influência das atividades rurais na bacia do Rio Verde

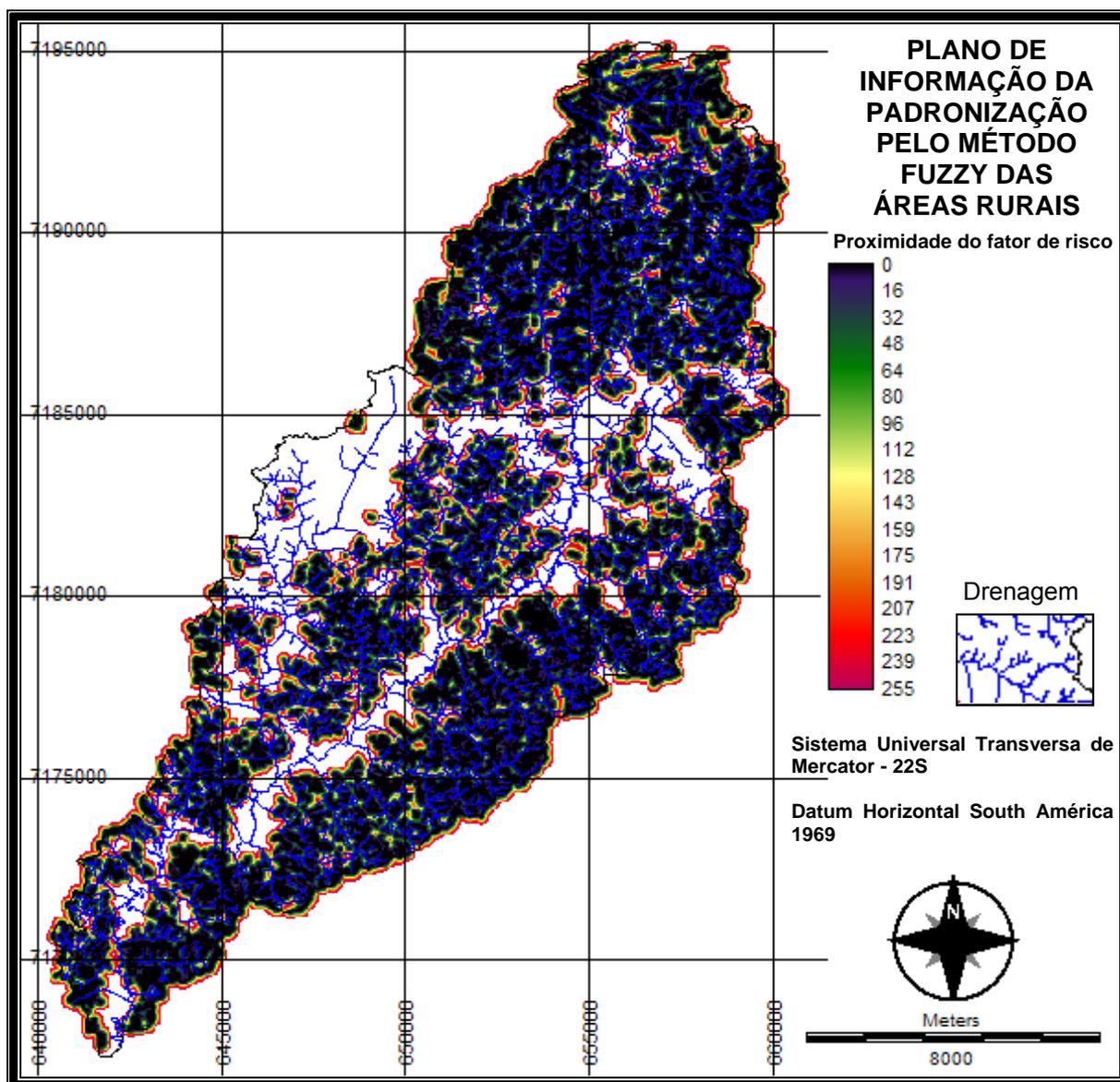


Figura 20 - Plano de Informação da Padronização pelo Método Fuzzy das Áreas Rurais
FONTE: o autor (2010)

5.6.5 Plano de Informação da Padronização Pelo Método *Fuzzy* das Áreas Urbanas

Analisando o resultado da reclassificação *Fuzzy* para o Plano de Informação Padronização Pelo Método *Fuzzy* das Áreas Urbanas (figura 21), que estabeleceu um raio de incidência de quinhentos metros ao fator de risco na bacia do Rio Verde, observa-se que tais áreas de incidência se concentram na parte central em uma faixa que corta a bacia de leste a oeste acompanhando a BR-277, na parte central-oeste na sede do município de Campo Largo, a norte nos Bairros do Município de Campo Magro e a sudeste no entorno da Colônia Cristina no Município de Araucária.

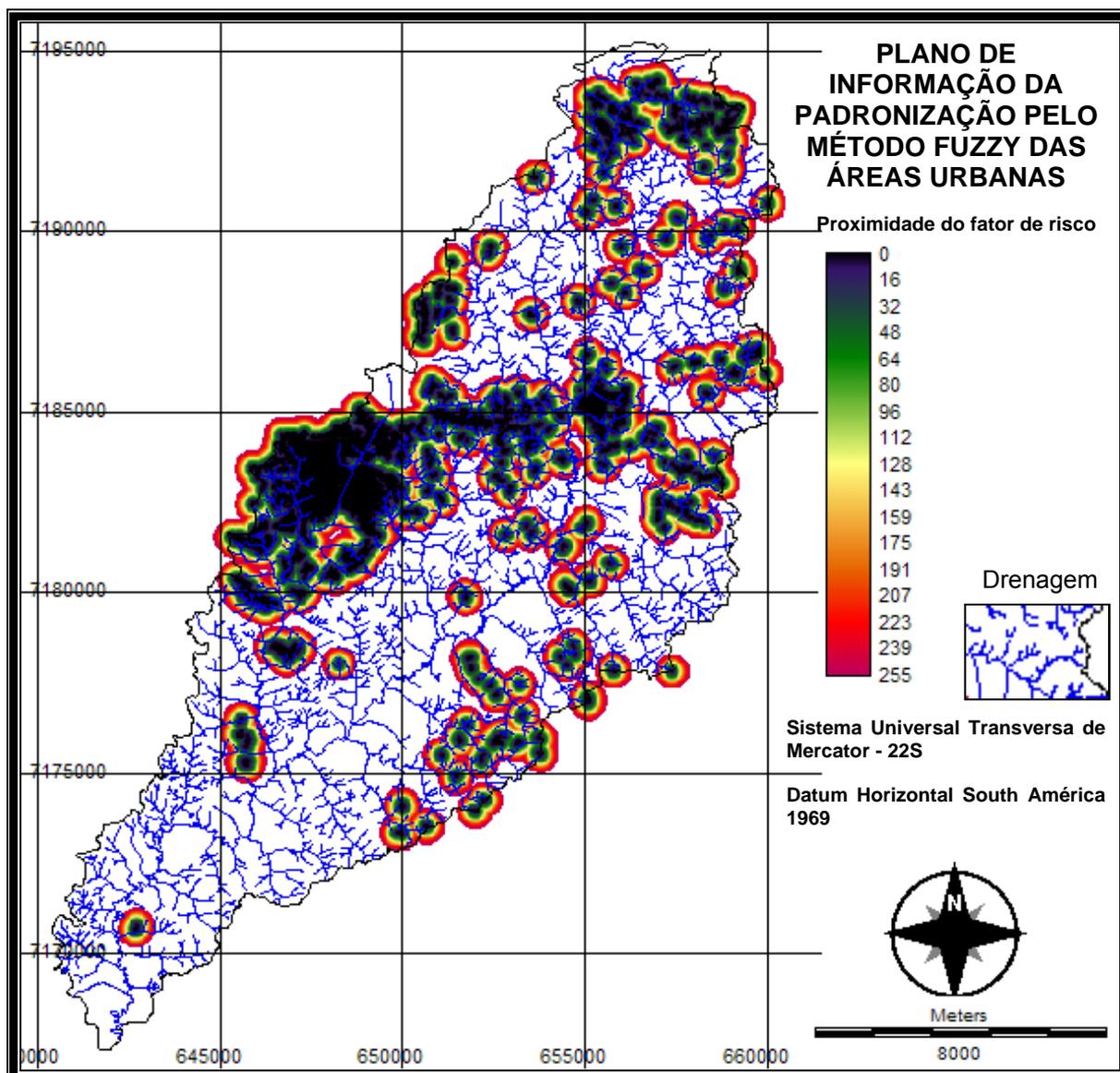


Figura 21 - Plano de Informação da Padronização Pelo Método Fuzzy das Áreas Urbanas
 FONTE: o autor (2010)

5.7 Reclassificações dos planos de informação Fuzzy

A padronização *Fuzzy* é claramente mais flexível que os métodos Booleanos para a análise de risco ambiental, pois a metodologia Booleana aceita apenas intervalos rígidos e muitas áreas são rejeitadas. Assim a classificação *Fuzzy* de uma variável contínua é claramente a melhor aproximação da realidade.

Portanto após reclassificar os cinco fatores de risco ambiental todos com uma escala de 255 níveis (partindo do zero mais impactante para 255 menos impactante) através da lógica *Fuzzy*, fez-se a divisão classificando de maneira direta os 255 níveis em cinco categorias de risco ambiental (altíssimo risco ambiental, alto risco ambiental, médio risco ambiental, baixo risco ambiental e baixíssimo risco ambiental), para todos os planos de informação intermediários (Áreas Industriais, Áreas de Mineração, Áreas de Solo Exposto, Áreas Rurais, e Áreas Urbanas). Cada categoria de risco ambiental abrange um intervalo de 51 níveis da escala anterior gerada pela padronização *Fuzzy*.

Tal processo de reclassificação se dá de maneira simples, pois basicamente consiste em atribuir novos identificadores a um fator ou grupo de fatores em um plano de informação, facilitando a análise posterior dos dados, pois além de agrupá-los resume a base de parâmetros indicados no plano de informação.

O resultado da reclassificação das áreas de risco na bacia do Rio Verde pode ser observado a seguir nos planos de informação representados pelas figuras 22, 23, 24, 25, e 26.

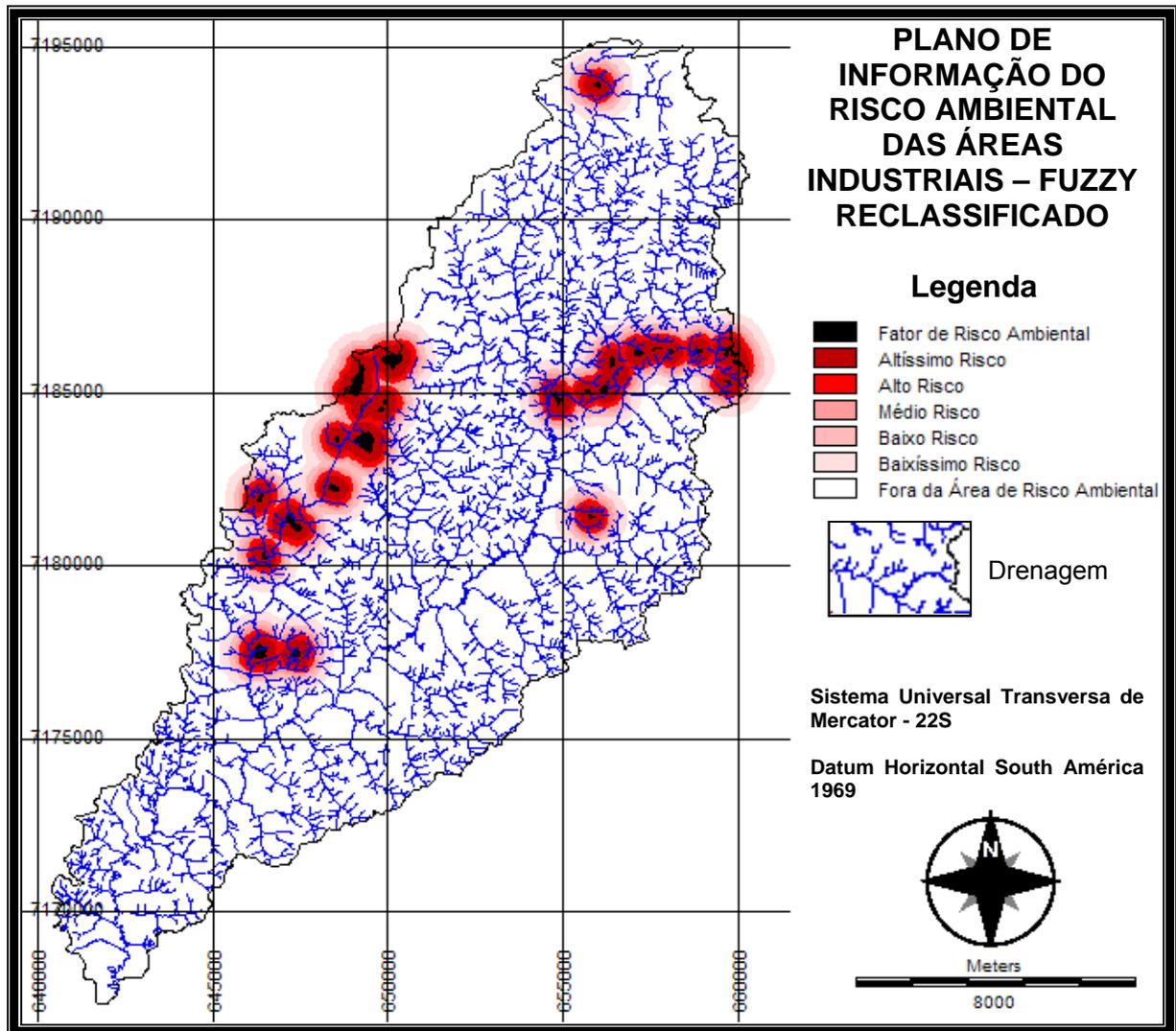


Figura 22 - Plano de Informação do Risco Ambiental das Áreas Industriais – Fuzzy Reclassificado
 FONTE: o autor (2010)

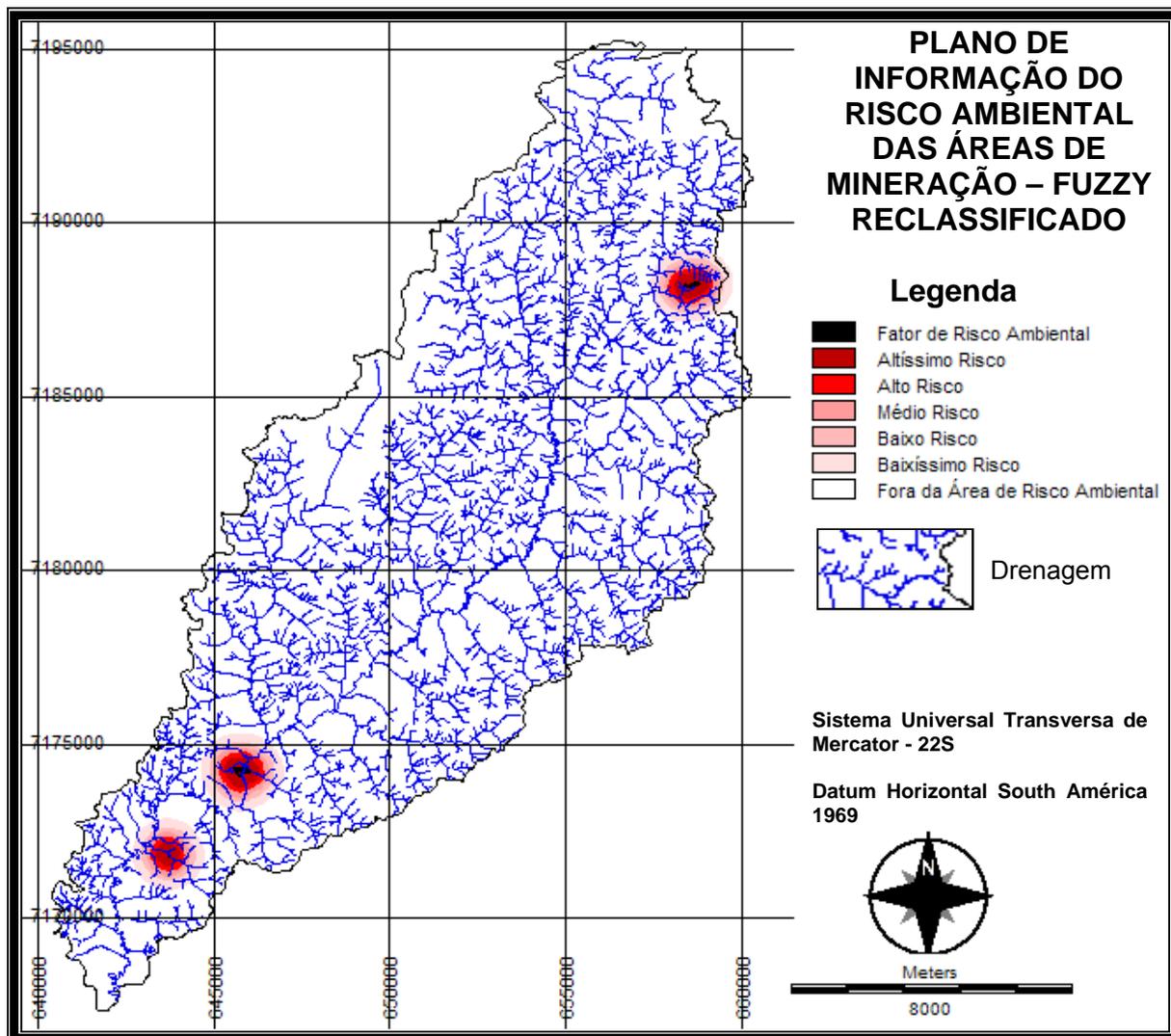


Figura 23 - Plano de Informação do Risco Ambiental das Áreas de Mineração – Fuzzy Reclassificado.

FONTE: o autor (2010)

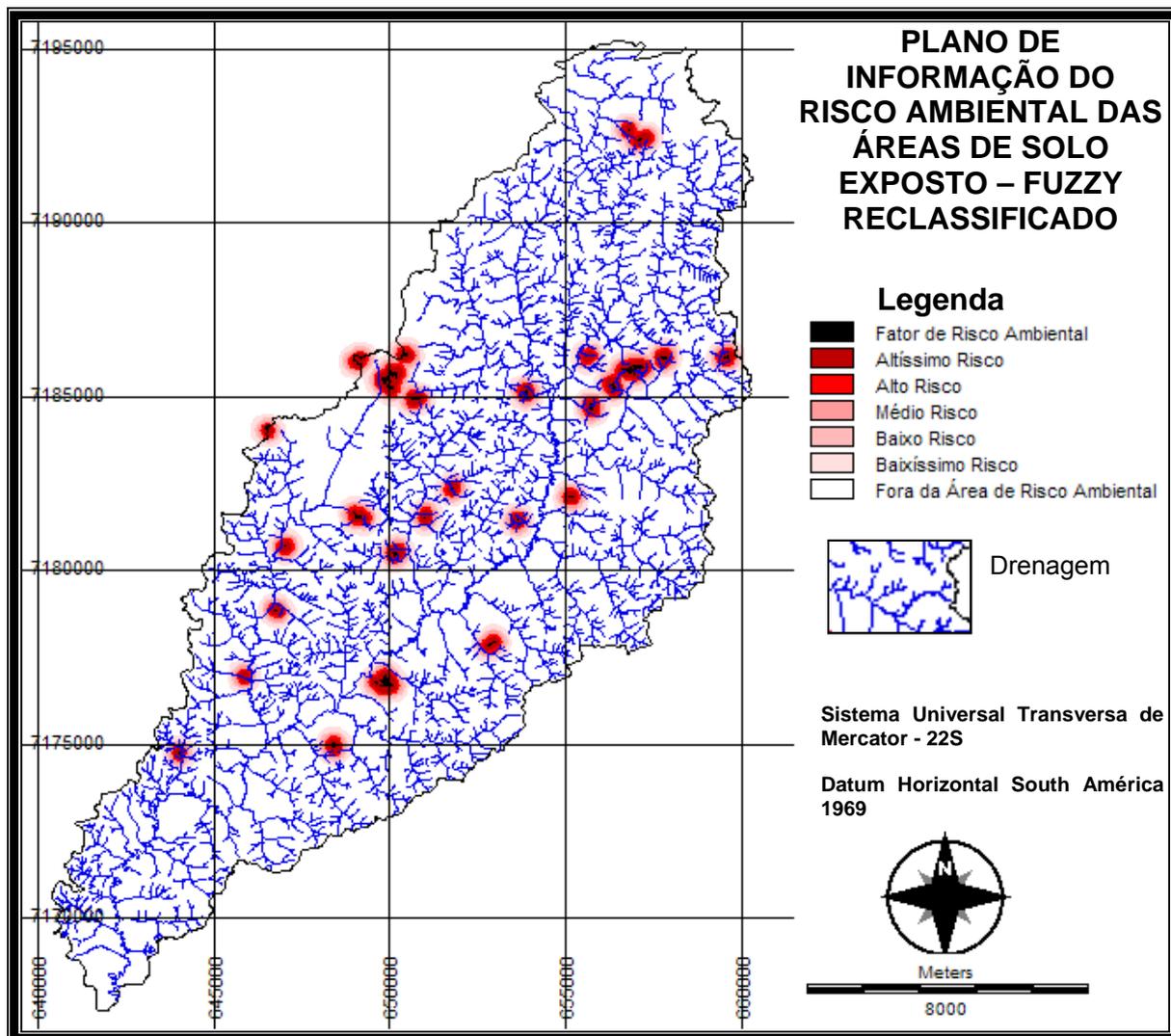


Figura 24 - Plano de Informação do Risco Ambiental das Áreas de Solo Exposto – Fuzzy Reclassificado.

FONTE: o autor (2010)

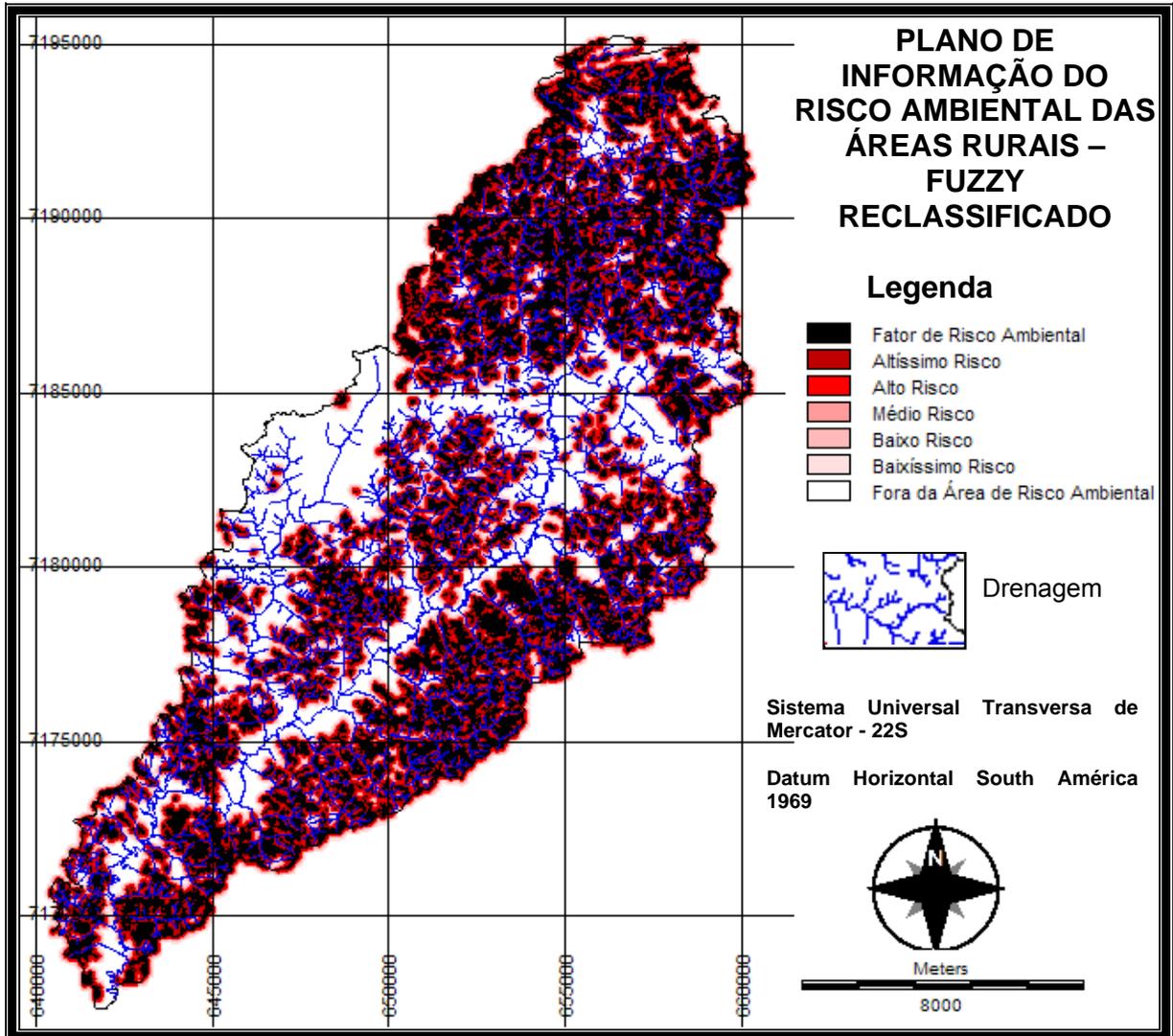


Figura 25 - Plano de Informação do Risco Ambiental das Áreas Rurais – Fuzzy Reclassificado.

FONTE: o autor (2010)

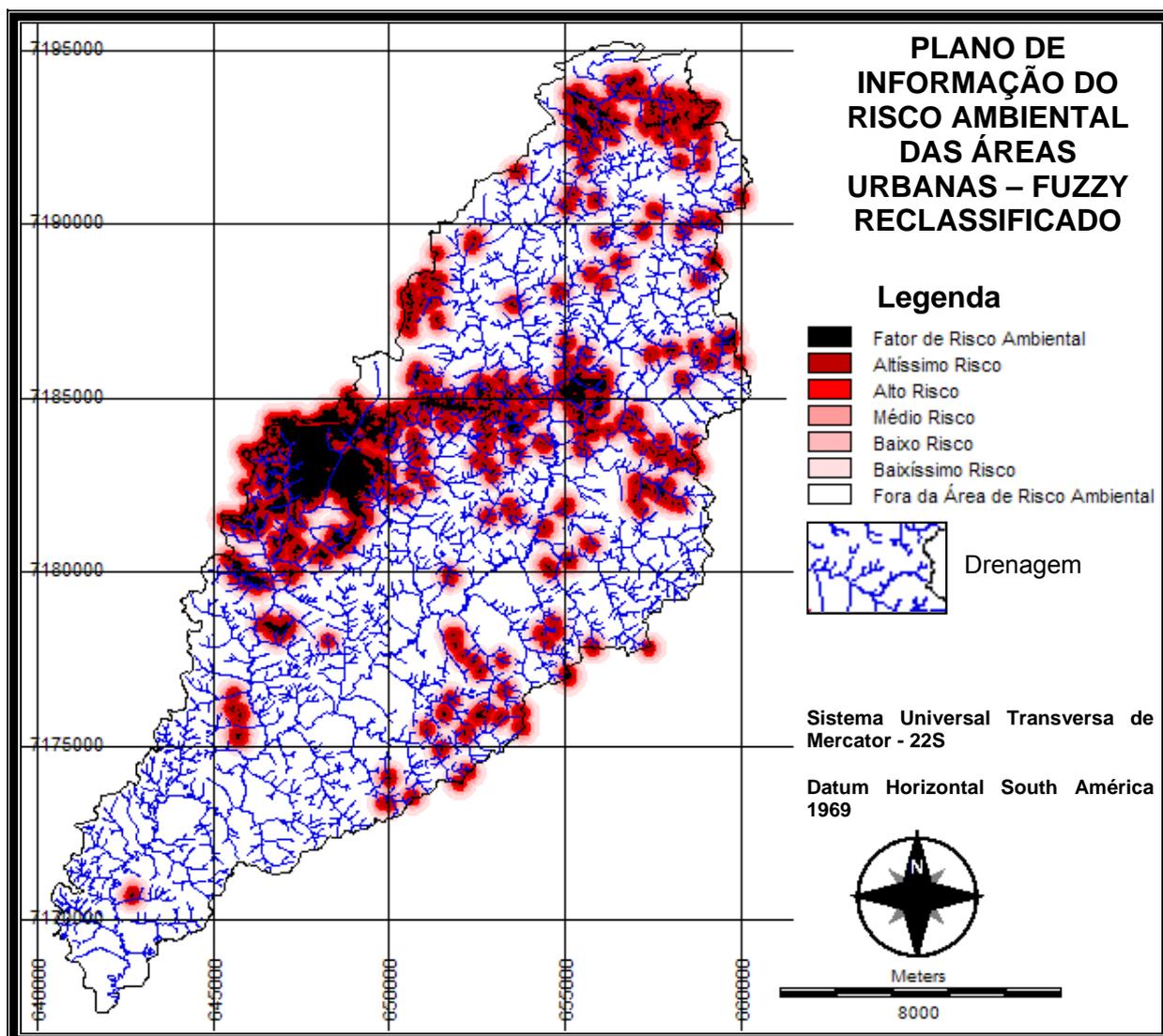


Figura 26 - Plano de Informação do Risco Ambiental das Áreas Urbanas – Fuzzy Reclassificado.

FONTE: o autor (2010)

5.8 ANÁLISE BOOLEANA

A análise booleana dos dados também denominada análise clássica, pode servir de parâmetro, mas trata-se de uma proposta muito simples e na maioria das vezes não corresponde ou se adequa a análises de risco ambiental mais apuradas. Como relatado no referencial teórico, o método booleano para análises é muito rígido, aceitando apenas intervalos fixos de 0 (não) ou 1(sim), desta forma muitas

áreas em níveis intermediários se tornam apenas não aptas ou aptas, empobrecendo o resultado da análise dos dados.

No caso da bacia do Rio Verde, para determinar os riscos à drenagem fluvial, aplicou-se um *buffer* de 30m aos canais (figura 27), pois segundo o Código Florestal Brasileiro - Lei n.º 4771, se consideram de preservação permanente, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima seja: 30 metros para os cursos d'água menores de 10 metros de largura.

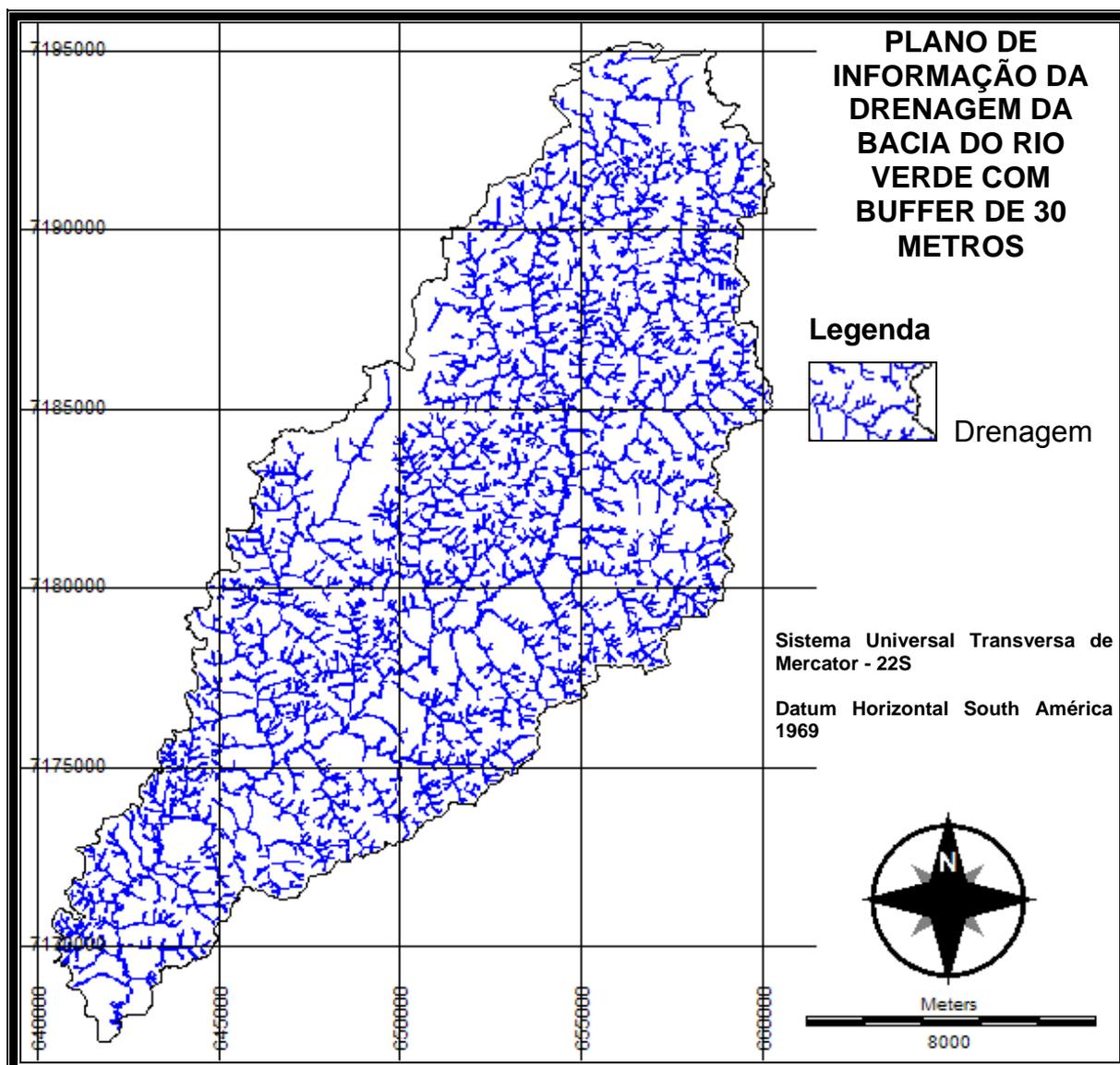


Figura 27 - Plano de Informação da Drenagem da Bacia do Rio Verde com *Buffer* de 30m.
FONTE: o autor (2010)

Portanto após obter o plano de informação da rede hidrográfica da bacia do Rio Verde com *buffer* de 30m, este foi cruzado com os demais fatores de risco (áreas industriais, áreas de mineração, áreas de solo exposto, áreas rurais e áreas urbanas).

Observando a legenda dos planos de informação nas figuras 28, 30, 31, 32 e 33, é possível verificar a classificação por nível de risco ambiental aos canais de drenagem nas áreas industriais, de mineração, solo exposto, rurais e urbanas.

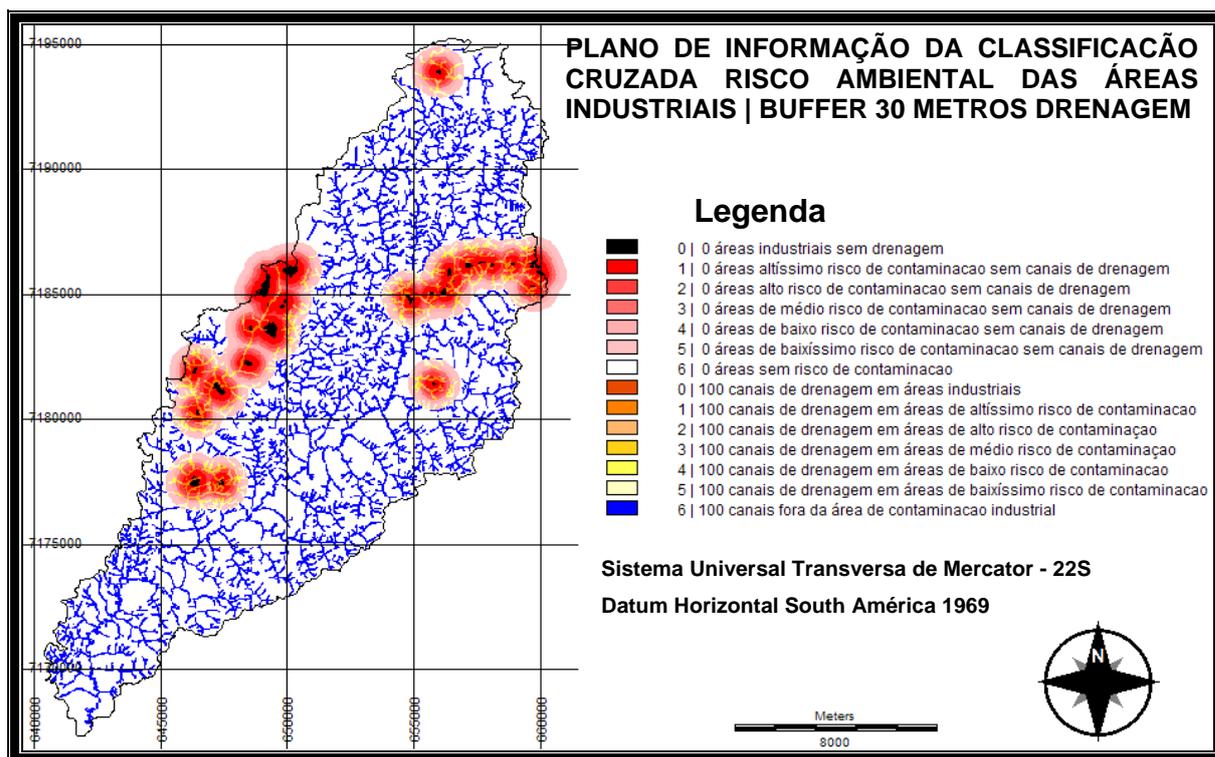


Figura 28 - Plano de Informação da Classificação Cruzada Risco Ambiental das Áreas Industriais | *Buffer* 30 Metros da Drenagem.
FONTE: o autor (2010)

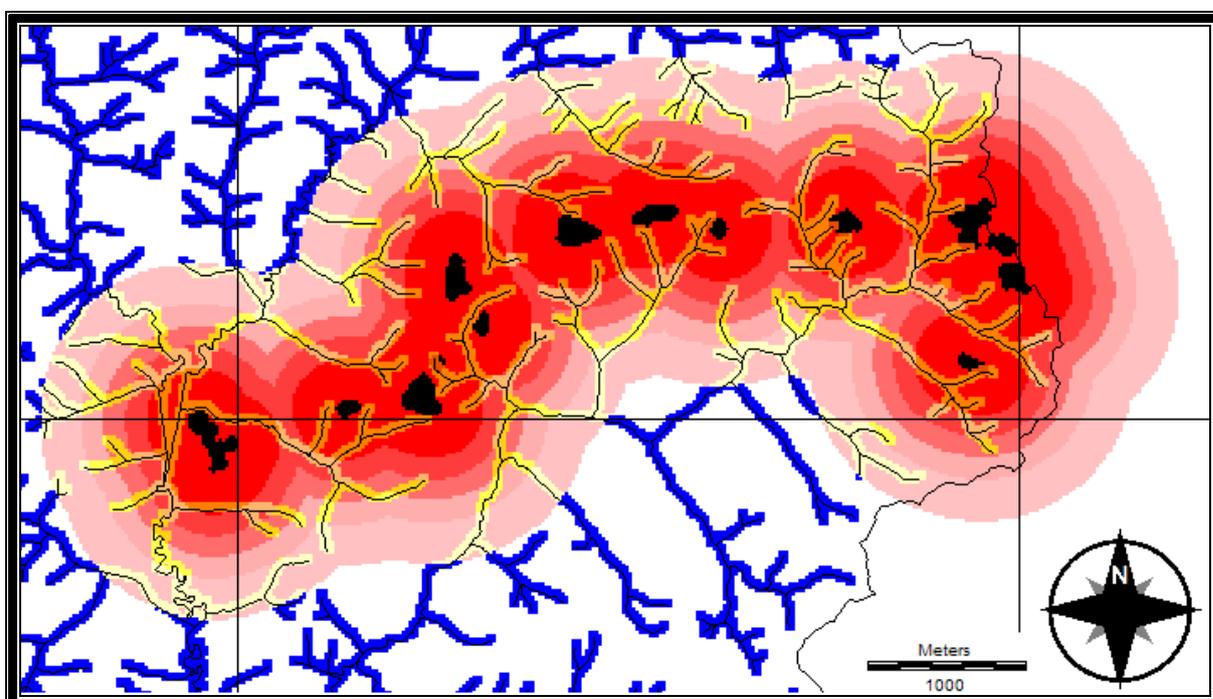


Figura 29 - Ampliação da Figura 30.
FONTE: o autor (2010)

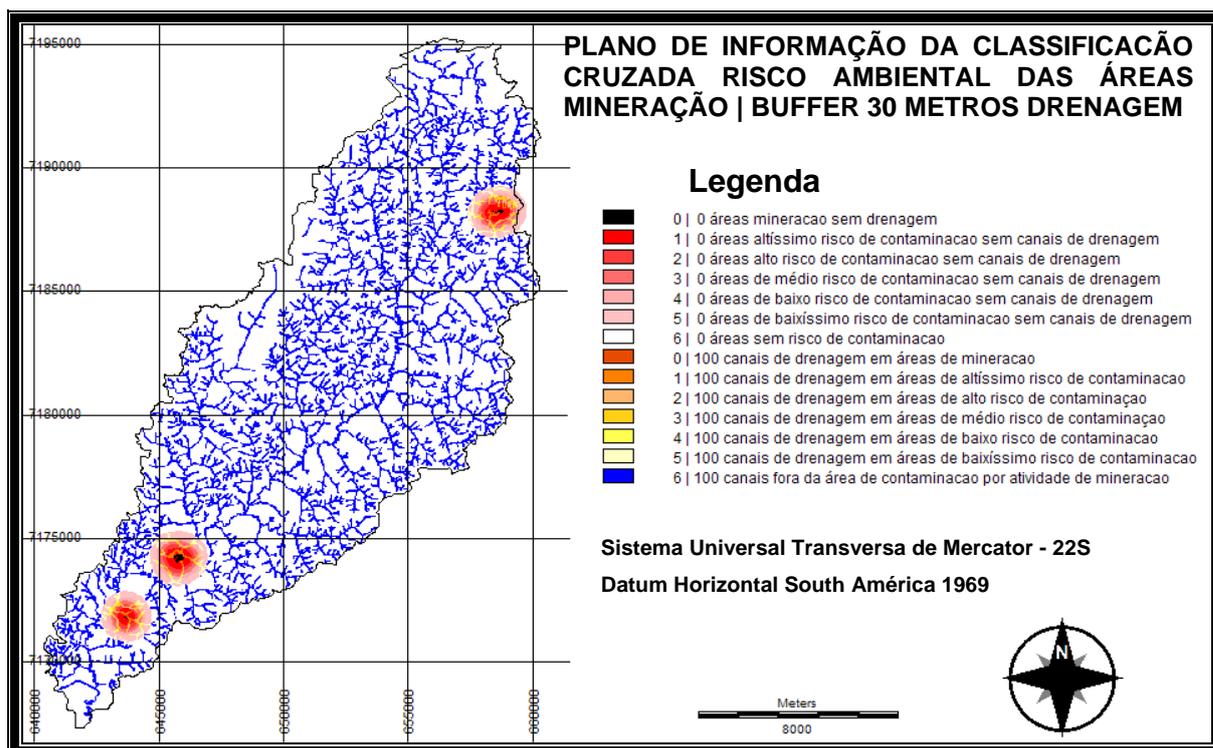


Figura 30 - Plano de Informação da Classificação Cruzada Risco Ambiental das Áreas Mineração | Buffer 30 Metros da Drenagem.
FONTE: o autor (2010)

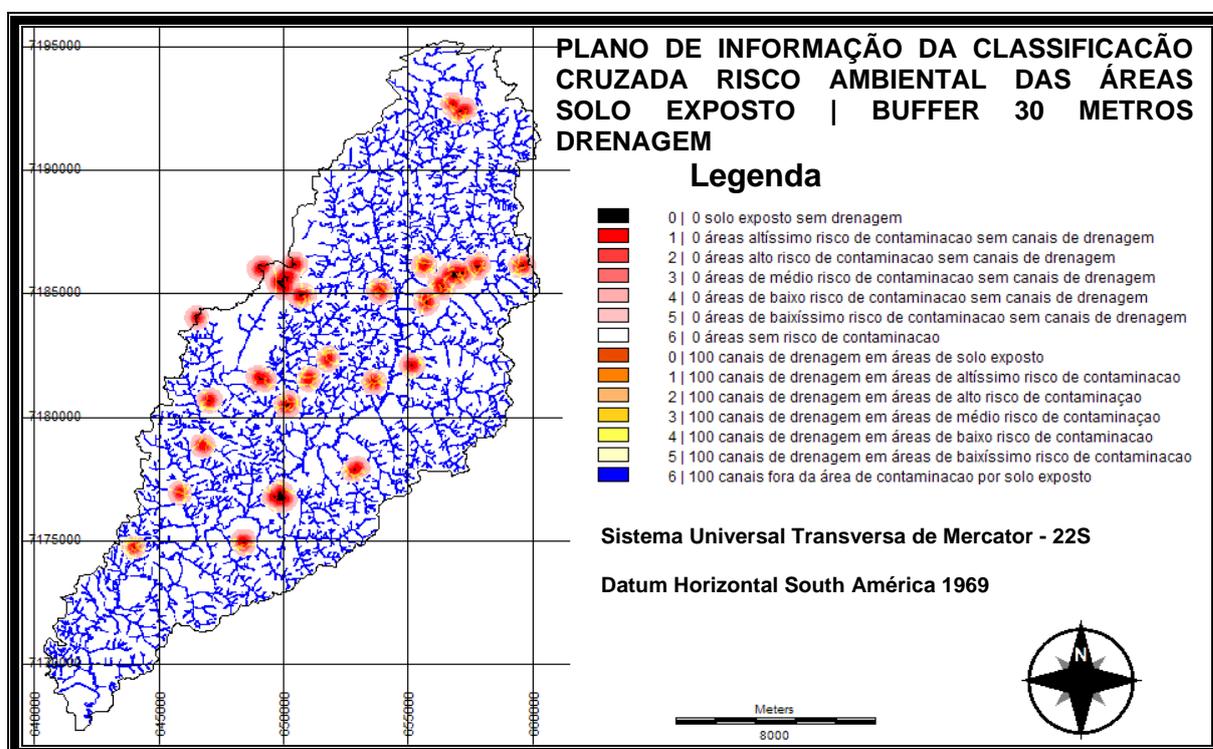


Figura 31- Plano de Informação da Classificação Cruzada Risco Ambiental das Áreas Solo Exposto | Buffer 30 Metros da Drenagem.
FONTE: o autor (2010)

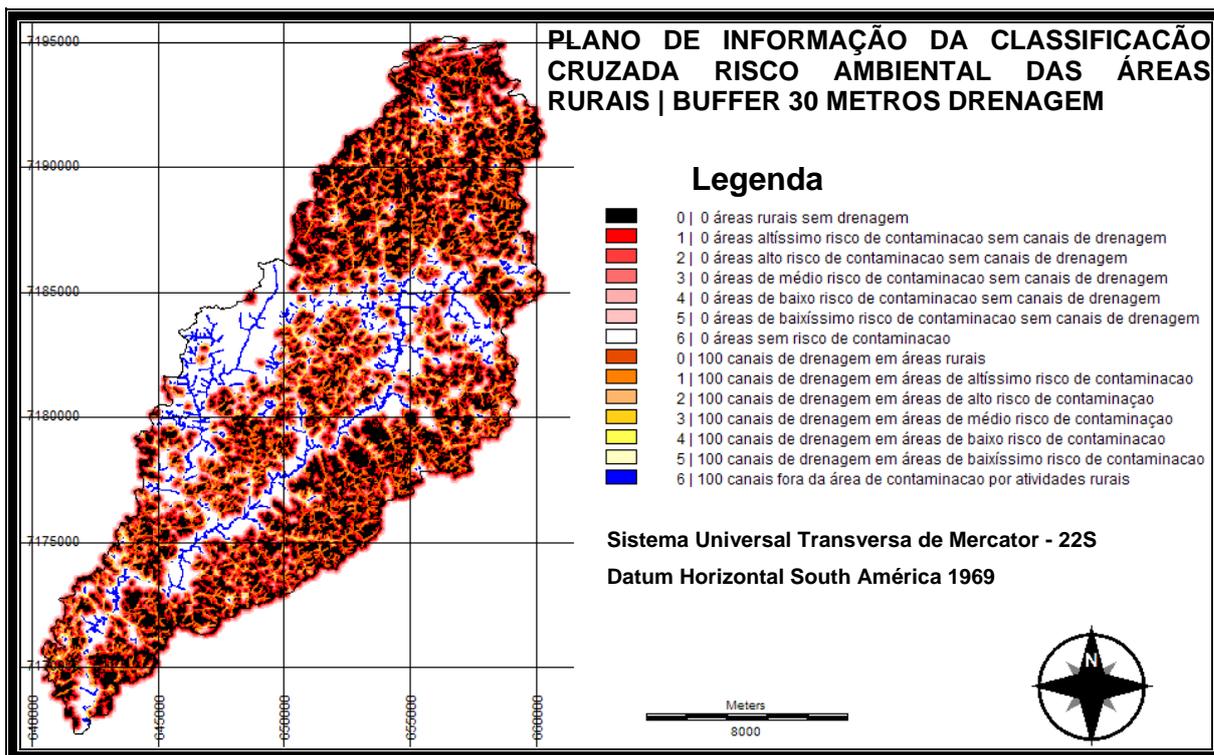


Figura 32 - Plano de Informação da Classificação Cruzada Risco Ambiental das Áreas Rurais | Buffer 30 Metros da Drenagem.
FONTE: o autor (2010)

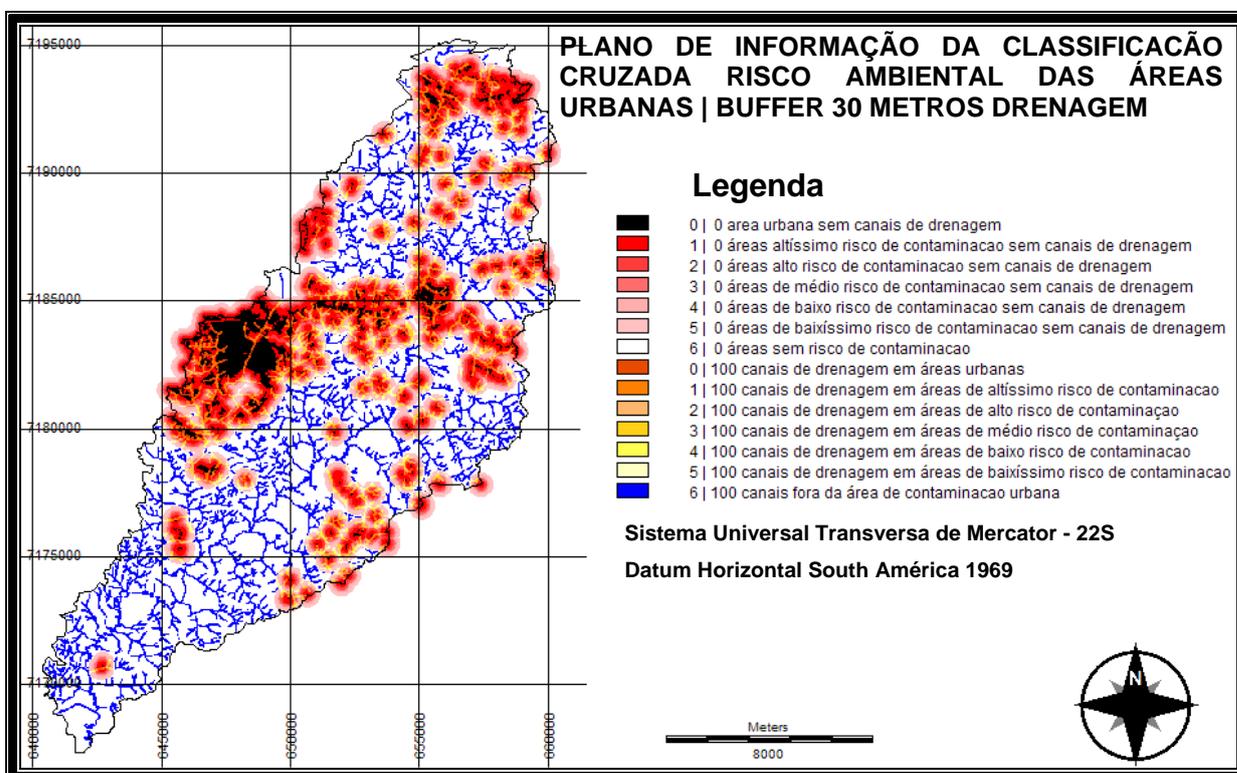


Figura 33 - Plano de Informação da Classificação Cruzada Risco Ambiental das Áreas Urbanas | Buffer 30 Metros da Drenagem.
FONTE: o autor (2010)

Porém é possível observar nos planos de informação anteriores (figuras 28, 30, 31, 32 e 33), que foram criadas 14 novas categorias, resultantes do cruzamento entre a drenagem com buffer de 30m com cada plano de informação (áreas industriais, áreas de mineração, áreas de solo exposto, áreas rurais e áreas urbanas).

Através do processo de reclassificação, simplificou-se a legenda dos planos de informação (figuras 34, 35, 36, 37 e 38), eliminando-se as áreas de risco que cada fator recobre na bacia, mantendo-se apenas a drenagem com um buffer de 30 metros de cada lado para facilitar a visualização dos riscos impostos por cada fator à rede de drenagem fluvial da Bacia do Rio Verde.

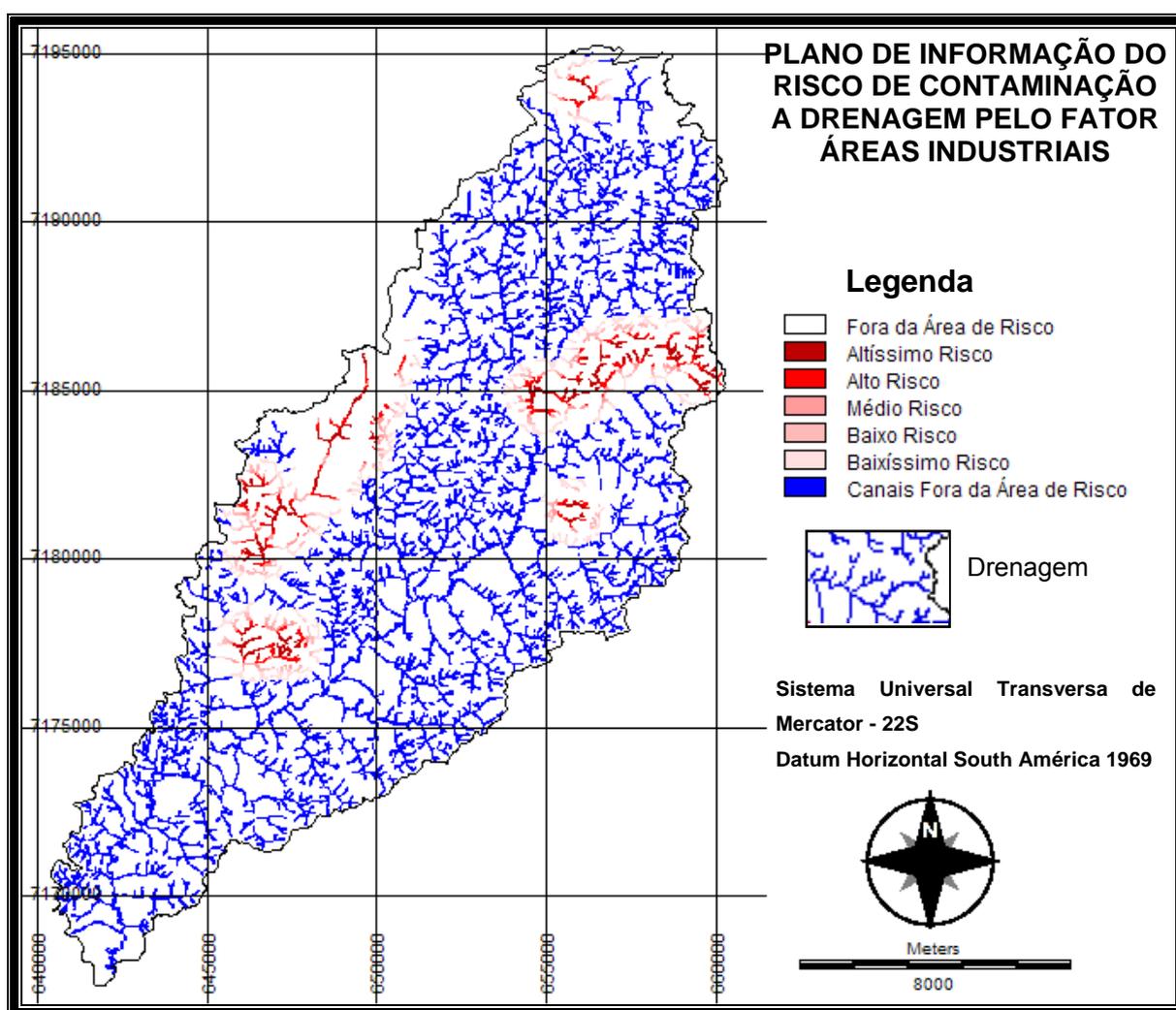


Figura 34 - Plano de Informação do Risco de Contaminação a Drenagem pelo Fator Áreas Industriais.

FONTE: o autor (2010)

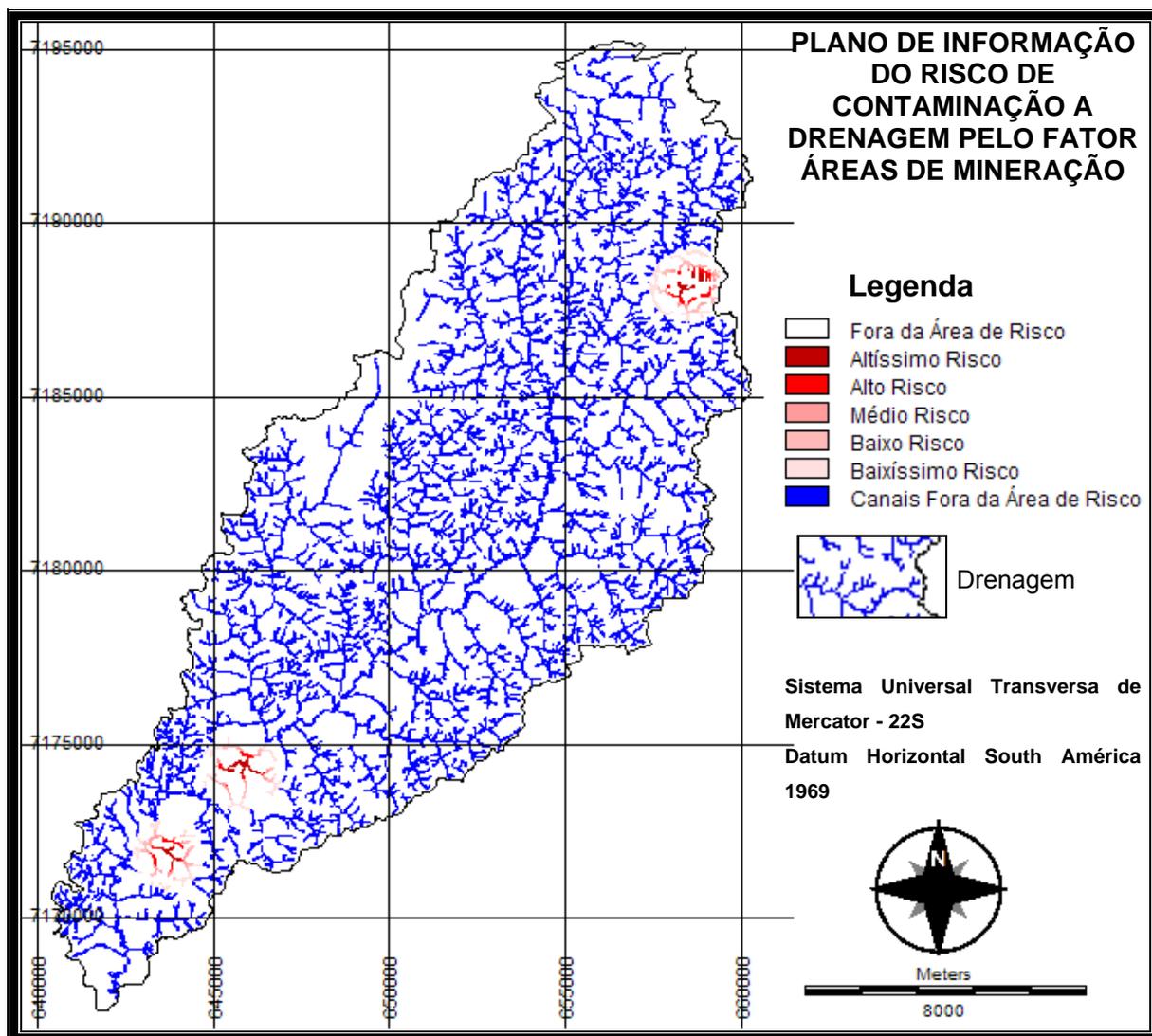


Figura 35 - Plano de Informação do Risco de Contaminação a Drenagem Pelo Fator Áreas de Mineração.

FONTE: o autor (2010)

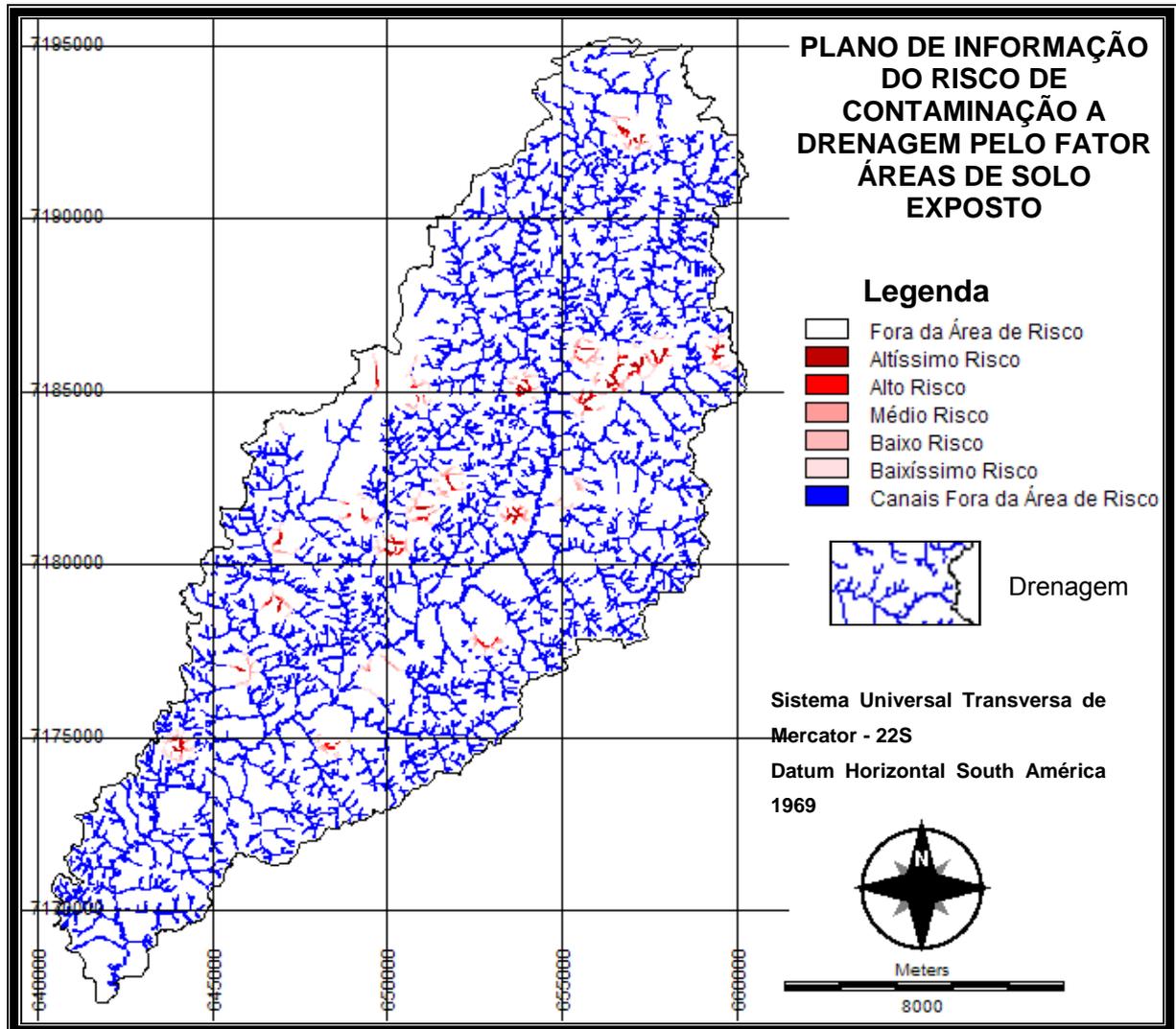


Figura 36 - Plano de Informação do Risco de Contaminação a Drenagem pelo Fator Áreas de Solo Exposto.

FONTE: o autor (2010)

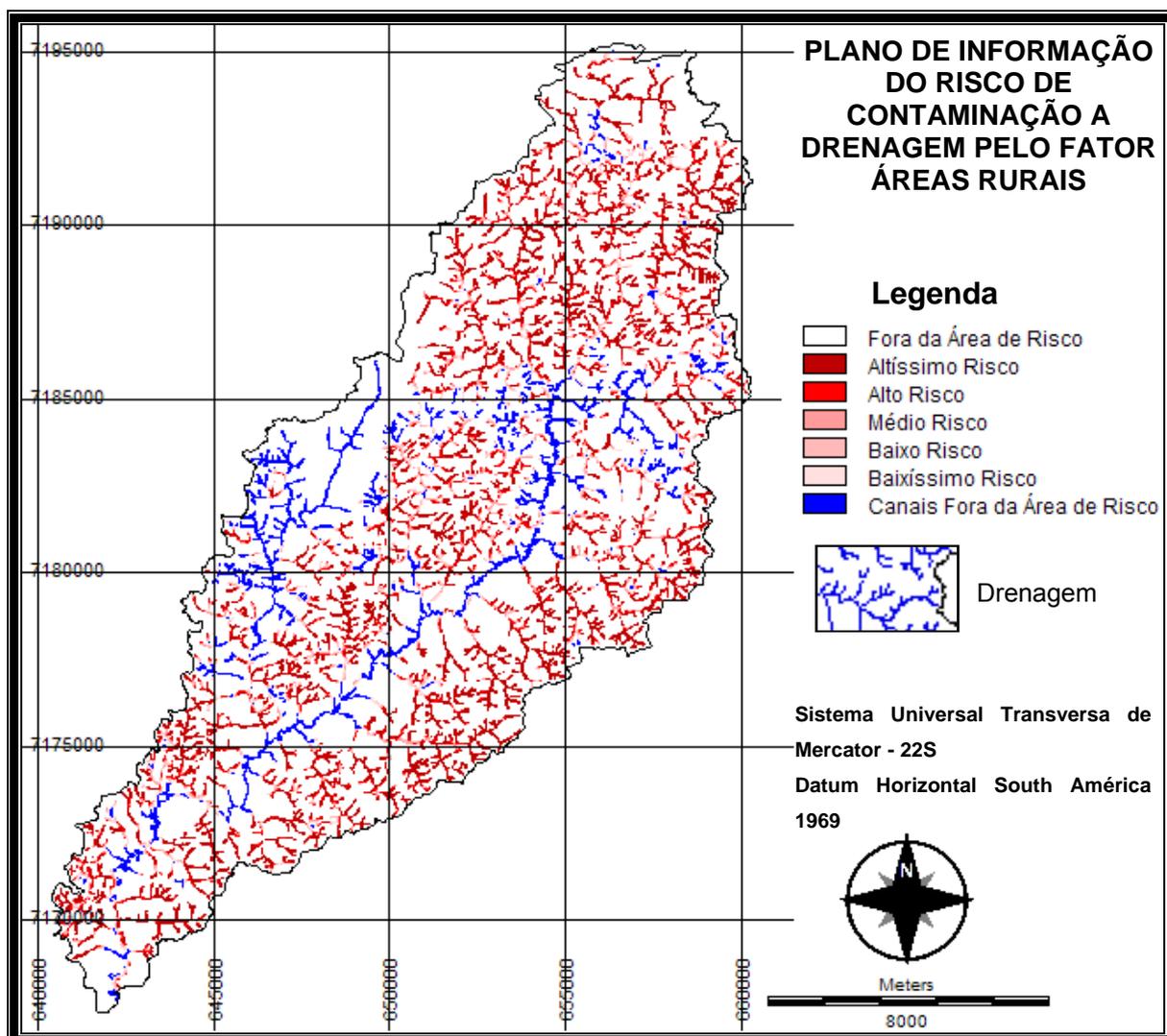


Figura 37 - Plano de Informação do Risco de Contaminação a Drenagem pelo Fator Áreas Rurais.

FONTE: o autor (2010)

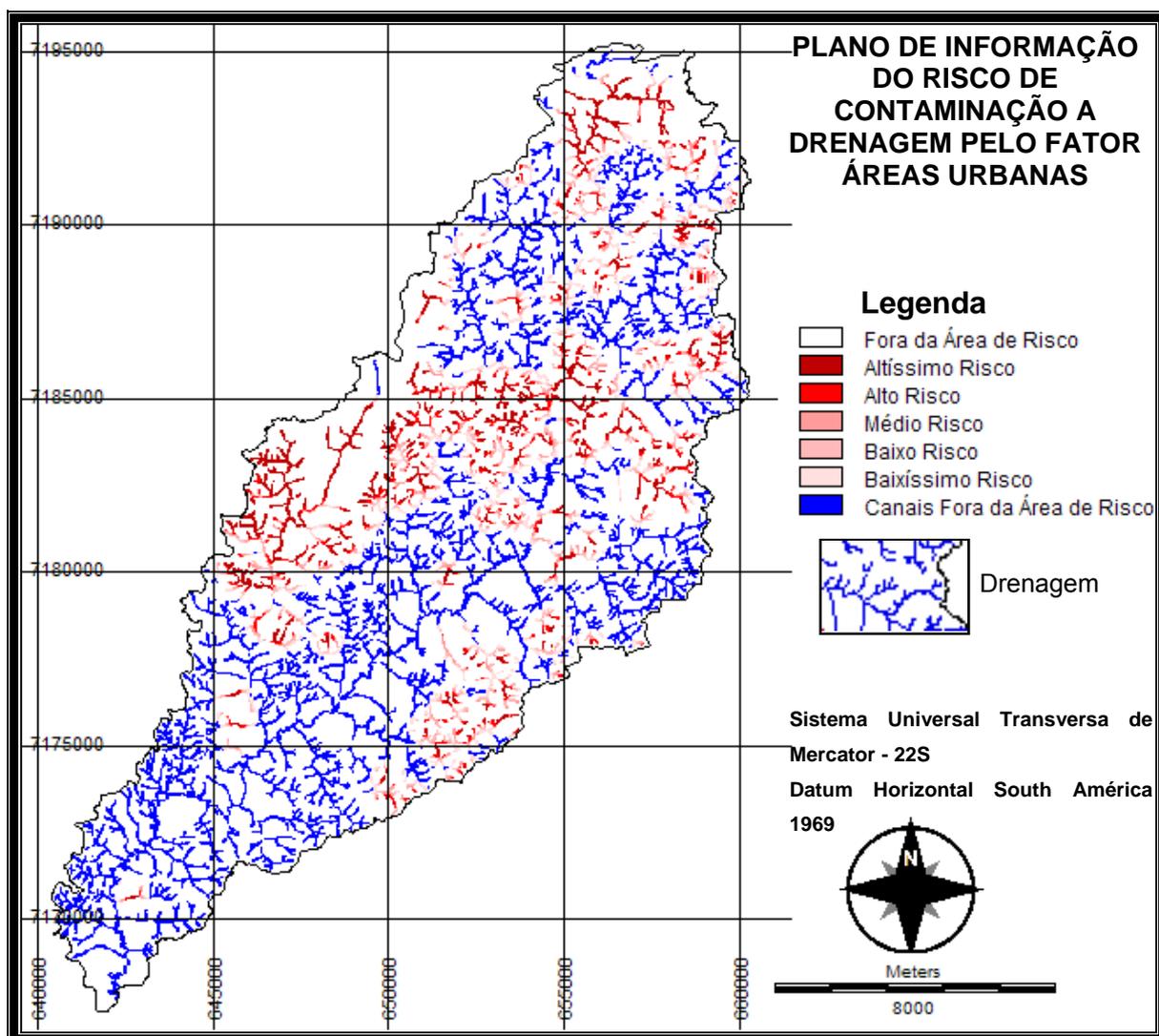


Figura 38 - Plano de Informação do Risco de Contaminação a Drenagem pelo Fator Áreas Urbanas.

FONTE: o autor (2010)

5.8.1 Agregação dos Fatores de Risco

De posse dos cinco planos de informação (figuras 34, 35, 36, 37 e 38) com as áreas de risco apenas referente às drenagens, bastou de maneira simples cruzá-los, sobrepondo-os um a um através de tabulação cruzada, obtendo-se desta forma o risco ambiental agregado dos cinco fatores de risco (Áreas Industriais, Áreas de Mineração, Áreas de Solo Exposto, Áreas Rurais e Áreas Urbanas) a drenagem

fluvial na bacia do Rio Verde, o resultado pode ser observado a seguir no plano de informação Riscos de Contaminação as Drenagens Agregando-se os Cinco Fatores de Contaminação (figura 39).

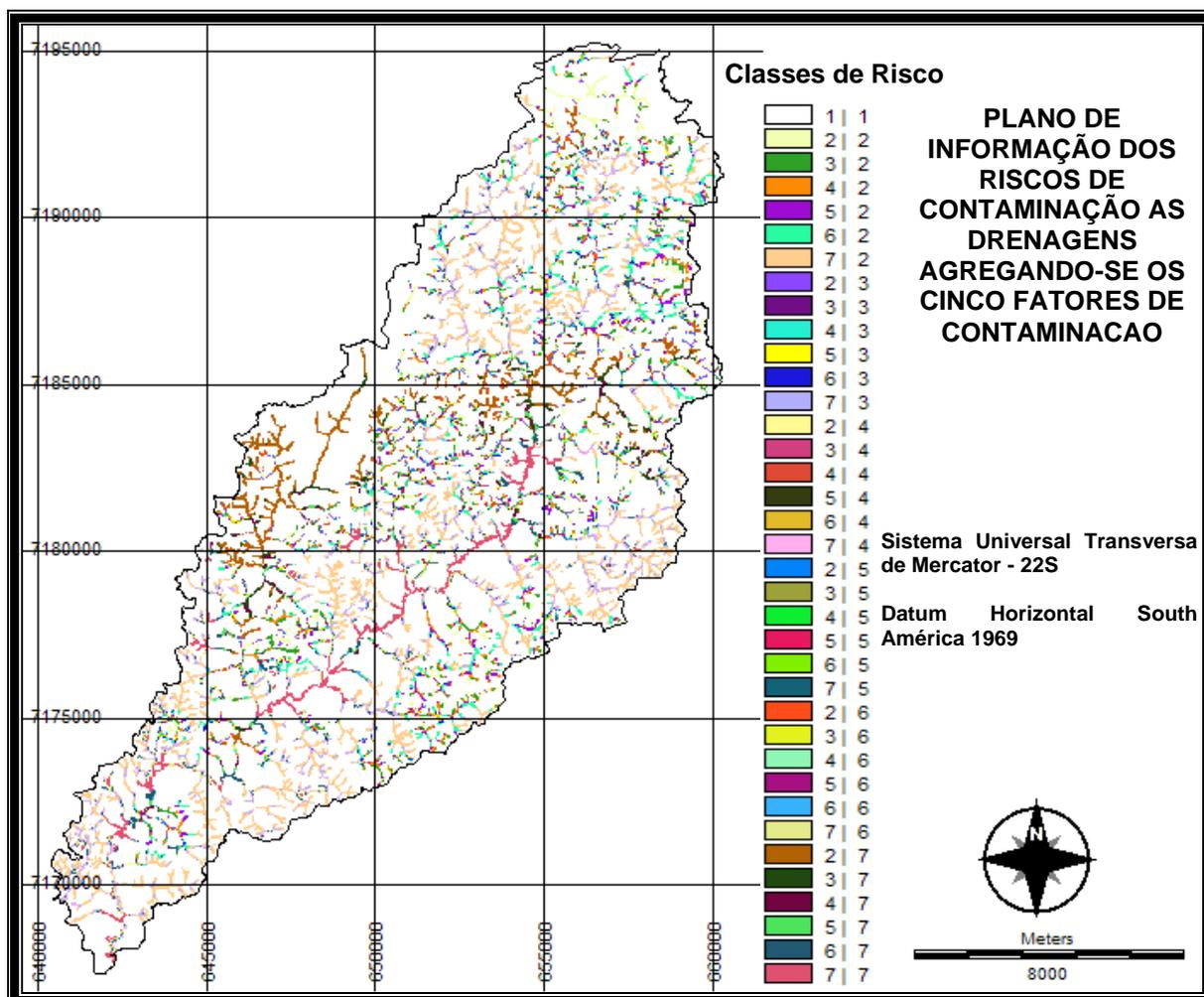


Figura 39 - Plano de Informação dos Riscos de Contaminação as Drenagens Agregando-se os Cinco Fatores de Contaminação.
FONTE: o autor (2010)

Porém a soma dos cinco fatores formou um novo plano de informação (figura 39), com 37 novas classes dentro do plano de informação Riscos de Contaminação as Drenagens Agregando-se os Cinco Fatores de Contaminação, desta forma tornou-se necessário uma nova reclassificação para determinar as áreas e níveis de risco ambiental à drenagem fluvial na bacia do Rio Verde. Foi obedecido o seguinte critério para a nova reclassificação: níveis mais elevados de

risco quando sobreposto a níveis inferiores de risco de outros fatores permanecem classificados com o nível maior de risco de contaminação, por exemplo, observando a legenda do plano de informação anterior (figura 39), o caso da terceira classe 3|2 (verde escuro), esta mostra que as áreas com tal identificador possuíam identificador 3 no seu plano de informação de origem (alto risco ambiental) e foram sobrepostas por identificador 2 (altíssimo risco ambiental) de algum outro plano de informação, desta forma este identificador foi reclassificado como altíssimo, pois aqui se aplicou uma regra simples e única para o procedimento, que sempre o nível de risco maior sobrepõe ao menor. Portanto para todos os demais 36 identificadores estes foram reclassificados de acordo com o maior fator de risco ambiental. Utilizando a ferramenta reclass do IDRISI se reclassificou todos os 37 níveis (tabela 08), obtendo-se o mapa de risco ambiental a drenagem fluvial da bacia do Rio Verde através do método booleano (figura 40).

Tabela 8 – RECLASSIFICAÇÃO DAS CLASSES DE RISCO DE CONTAMINAÇÃO AS DRENAGENS AGREGANDO-SE OS CINCO FATORES DE CONTAMINACAO

Legenda	Classificação anterior	Classificação atual
1 1	Polígono Externo	Polígono Externo
2 2	Altíssimo Risco	Altíssimo Risco
3 2	Alto Risco	Altíssimo Risco
4 2	Médio Risco	Altíssimo Risco
5 2	Baixo Risco	Altíssimo Risco
6 2	Baixíssimo Risco	Altíssimo Risco
7 2	Canais Fora de Risco	Altíssimo Risco
2 3	Altíssimo Risco	Altíssimo Risco
3 3	Alto Risco	Alto Risco
4 3	Médio Risco	Alto Risco
5 3	Baixo Risco	Alto Risco
6 3	Baixíssimo Risco	Alto Risco
7 3	Canais Fora de Risco	Alto Risco
2 4	Altíssimo Risco	Altíssimo Risco
3 4	Alto Risco	Alto Risco
4 4	Médio Risco	Médio Risco
5 4	Baixo Risco	Médio Risco
6 4	Baixíssimo Risco	Médio Risco
7 4	Canais Fora de Risco	Médio Risco
2 5	Altíssimo Risco	Altíssimo Risco
3 5	Alto Risco	Alto Risco
4 5	Médio Risco	Médio Risco
5 5	Baixo Risco	Baixo Risco
6 5	Baixíssimo Risco	Baixo Risco
7 5	Canais Fora de Risco	Baixo Risco
2 6	Altíssimo Risco	Altíssimo Risco
3 6	Alto Risco	Alto Risco
4 6	Médio Risco	Médio Risco
5 6	Baixo Risco	Baixo Risco
6 6	Baixíssimo Risco	baixíssimo Risco
7 6	Canais Fora de Risco	Baixíssimo risco
2 7	Altíssimo Risco	Altíssimo Risco
3 7	Alto Risco	Alto Risco
4 7	Médio Risco	Médio Risco
5 7	Baixo Risco	Baixo Risco
6 7	Baixíssimo Risco	Baixíssimo Risco
7 7	Canais Fora de Risco	Canais Fora de Risco

FONTE: o autor (2010).

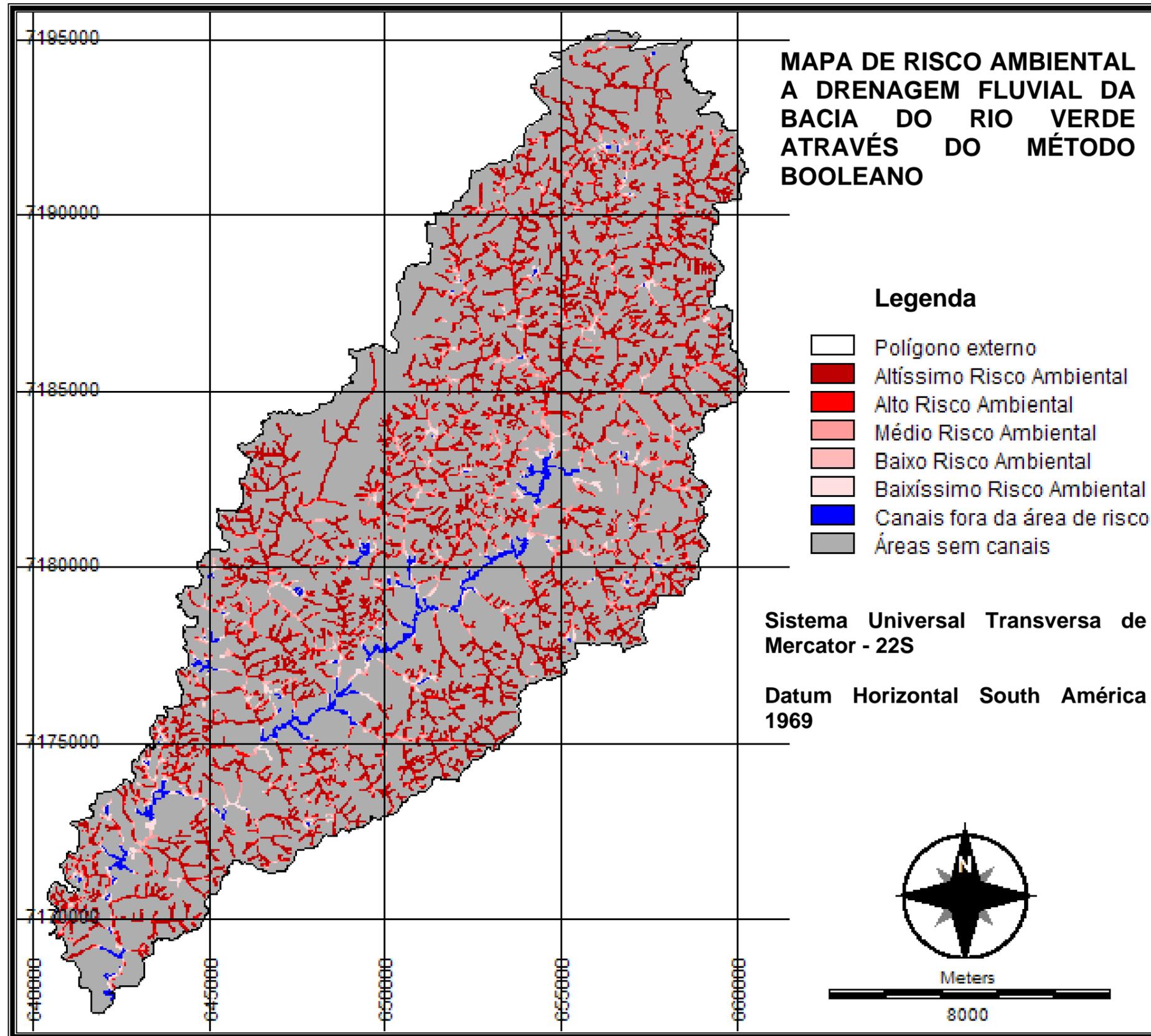


Figura 40 - Mapa de Risco Ambiental a Drenagem Fluvial da Bacia do Rio Verde Através do Método Booleano.
FONTE: o autor (2010)

Tabela 9 - RISCO AMBIENTAL A DRENAGEM FLUVIAL DA BACIA DO RIO VERDE ATRAVÉS DO MÉTODO BOOLEANO

Legenda	Área (Hectares)	Área (%)
Altíssimo Risco de Contaminação	3682,251	62,26
Alto Risco de Contaminação	895,992	15,15
Médio Risco de Contaminação	446,704	7,55
Baixo Risco de Contaminação	271,514	4,59
Baixíssimo Risco de Contaminação	296,630	5,01
Canais sem Risco de Contaminação	320,989	5,44
Total	5914,080	100,00

FONTE: o autor (2010).

5.9 ANÁLISES ATRAVÉS DOS PESOS DE IMPORTÂNCIA RELATIVA

Na procura por um método de análise ambiental que não seja extremamente rígido como o booleano se buscou na regra de decisão por pesos (Fuzzy/multicritério) uma análise mais realista, em que o risco dos fatores é combinado entre si, a fim de atingir o objetivo proposto de classificar os níveis de risco ambiental a drenagem fluvial dentro da Bacia do Rio Verde.

Como o intuito inicial desta pesquisa, é a determinação do risco ambiental a drenagem fluvial, houve a necessidade de que Os cinco fatores (Áreas Industriais, Áreas de Mineração, Áreas de Solo Exposto, Áreas Rurais e Áreas Urbanas) fossem escalonados, com cinco níveis de risco ambiental distintos dentro da bacia do Rio Verde (altíssimo risco ambiental, alto risco ambiental, médio risco ambiental, baixo risco ambiental e baixíssimo risco ambiental). Desta forma se pode avaliá-los para serem incorporados no processo de formulação da regra de decisão, valorando-se cada fator de acordo com a sua importância diante do cenário pretendido.

Através deste procedimento de valoração se obtêm a ponderação por meio da comparação pareada entre os cinco fatores de risco ambiental, pois segundo Weber e Hasenack (1999, p. 145), este tipo de comparação permite estabelecer qual é o fator mais significativo e quanto cada um é mais importante que os demais em termos relativos e como os fatores irão compensar-se uns aos outros, pois fatores

com aptidão elevada em uma determinada área podem compensar outros fatores com baixa aptidão neste mesmo local.

Nesta etapa, a pesquisa deve estar apoiada em sólida fundamentação teórica, e buscar, como anteriormente citado, contribuição de estudos e avaliações multidisciplinares, para que se possam contemplar adequadamente todos os fatores dentro do maior número de pontos de vista possíveis.

Utilizando o processo de comparação pareada deve se estabelecer uma matriz de pesos entre os fatores (figura 41), tal procedimento permite um processo mais interativo de exploração, onde se pode refazer o cálculo dos pesos, retornando a matriz de comparação pareada, quantas vezes forem necessárias. (EASTMAN, 1998, p. 1995).

De tal procedimento se obtêm um peso distinto para cada fator (Tabela 10) e uma avaliação de consistência da comparação pareada.

A razão de consistência (CR – *Consistency Ratio*) tem por finalidade informar, ao pesquisador, inconsistências ocorridas durante a atribuição de pesos, pois Segundo Saaty & Vargas, (1991, p. []) citado por Zambon, (2005, p. 189), quando o CR é superior a 0,1 é necessário reavaliar o processo. Esta afirmação é feita baseando-se em vários contextos em que se utilizou tal método para a resolução de diferentes tipos de análises complexas.

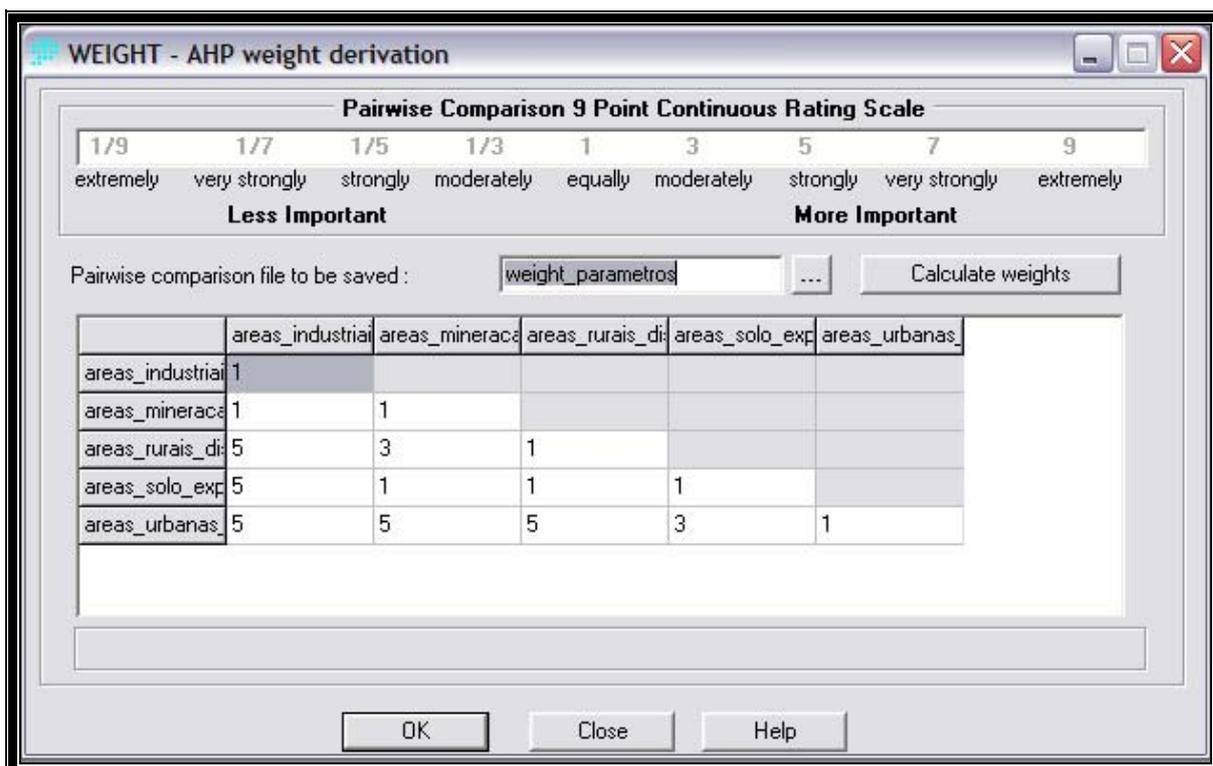


Figura 41 - DETERMINAÇÃO DOS PESOS DE IMPORTÂNCIA RELATIVA.

FONTE: software IDRISI Andes, versão 15.00, (CLARK LABS, 2006), atividade de laboratório. Adaptado pelo autor (2010)

Tabela 10 - PESOS DOS FATORES DE RISCO

Fator de Risco	Peso Calculado
Área Rural	0,1883
Área Mineração	0,0885
Área Urbana	0,4966
Área Solo Exposto	0,1677
Área Industrial	0,0589
Σ	1,0000

Razão de Consistência = 0,09 (aceitável)

FONTE: Adaptado pelo autor (2010).

Portanto ao analisar a tabela 10, se observa que as áreas urbanas são o fator de risco ambiental que recebeu o maior peso, ou seja, em função dos resultados obtidos da matriz de pesos (figura 41) este é o fator que impõe o maior

risco de contaminação na Bacia do Rio Verde, em segundo está o fator áreas rurais devido à grande extensão que recobre dentro da Bacia. Em terceiro estão as áreas de solo exposto, importante fator com risco de assoreamento dos canais, já os outros dois critérios, áreas de mineração e industrial por serem mais pontuais obtiveram pesos menores na avaliação de risco dentro da bacia do Rio Verde

5.9.1 Combinação Linear Ponderada

O passo final do processo de agregação dos fatores é a aplicação da regra de decisão, utilizando-se o método de agregação por múltiplos critérios, (*Multi Criteria Evaluation* – MCE), figura 42. Através de tal procedimento cada fator é multiplicado por seu peso para se obter os resultados. Neste processo o cálculo é feito pixel a pixel, gerando um plano de informação com áreas potenciais muito mais detalhado que na análise Booleana, com valores variando em uma escala de 0 a 255 (EASTMAN, 1998, p. 195).

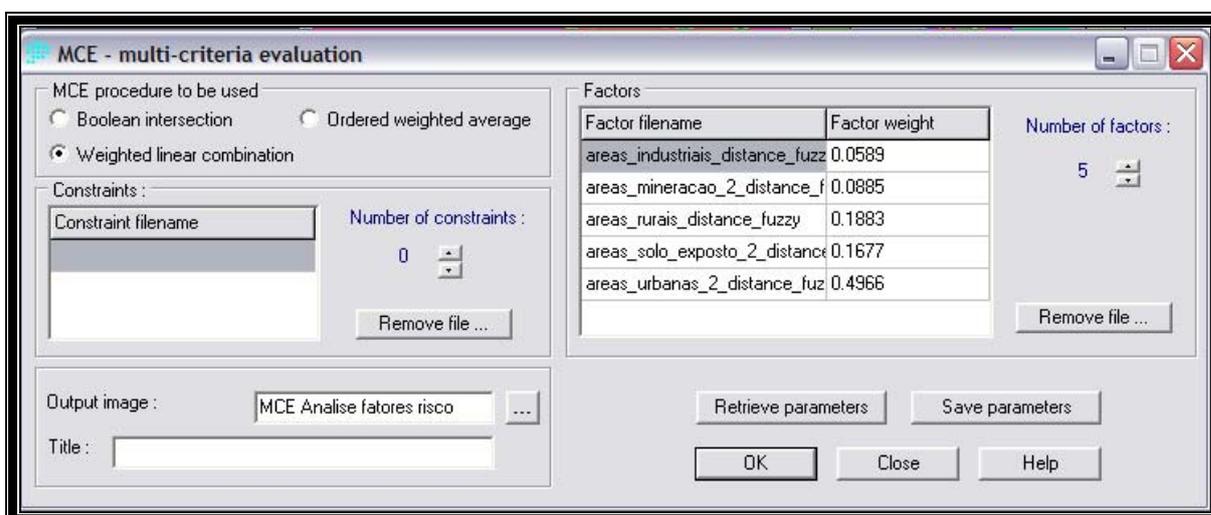


Figura 42 - MÓDULO DE ANÁLISE POR MÚLTIPLOS CRITÉRIOS – MCE.

FONTE: software IDRISI Andes, versão 15.00, (CLARK LABS, 2006), Atividade de Laboratório. Adaptado pelo autor (2010)

Importante ressaltar que tal procedimento permite uma compensação completa entre todos os fatores. O grau com que um fator compensa o outro é

determinado pelo seu peso. Por exemplo, na presente pesquisa o alto peso de restrição das áreas urbanas compensa o baixo peso das áreas de mineração, desta forma nas áreas de ocorrência destes dois fatores na bacia do Rio Verde o plano de informação resultante nestes locais terá uma restrição elevada. Desta forma através deste método de diferentes pesos, é permitido ao pesquisador levar em conta a informação de qual fator é o mais relevante na análise, onde a intensidade do fator não será totalmente restrita ou irrestrita, variando em uma tabela escalonada entre 0 e 255, onde áreas próximas a zero serão mais restritas e áreas próximas a 255 menos restritas e não simplesmente zero(0) ou um(1) como no caso das análises Booleanas, onde nesta metodologia a área seria considerada como absolutamente irrestrita ou restrita dependendo do parâmetro adotado.

O plano de informação resultante deste procedimento na bacia do Rio Verde utilizando os cinco fatores de risco (áreas industriais, áreas de mineração, áreas de solo exposto, áreas rurais e áreas urbanas) pode ser observado a seguir na figura 43.

Importante observar a variação de níveis de potencialidade no plano de informação análise por critérios múltiplos (figura 43), pois cada pixel representa o valor recebido em toda ação de combinação por pesos, que considerou os critérios escolhidos e os pesos a eles atribuídos, os pixels com maiores valores próximos a 255, representados pelas cores azul claríssimo e branco são considerados áreas que apresentam menores riscos ambientais na bacia, e pixels com valores próximos a 0 cor verde escuro, são considerados locais de alto risco de contaminação na bacia do Rio Verde.

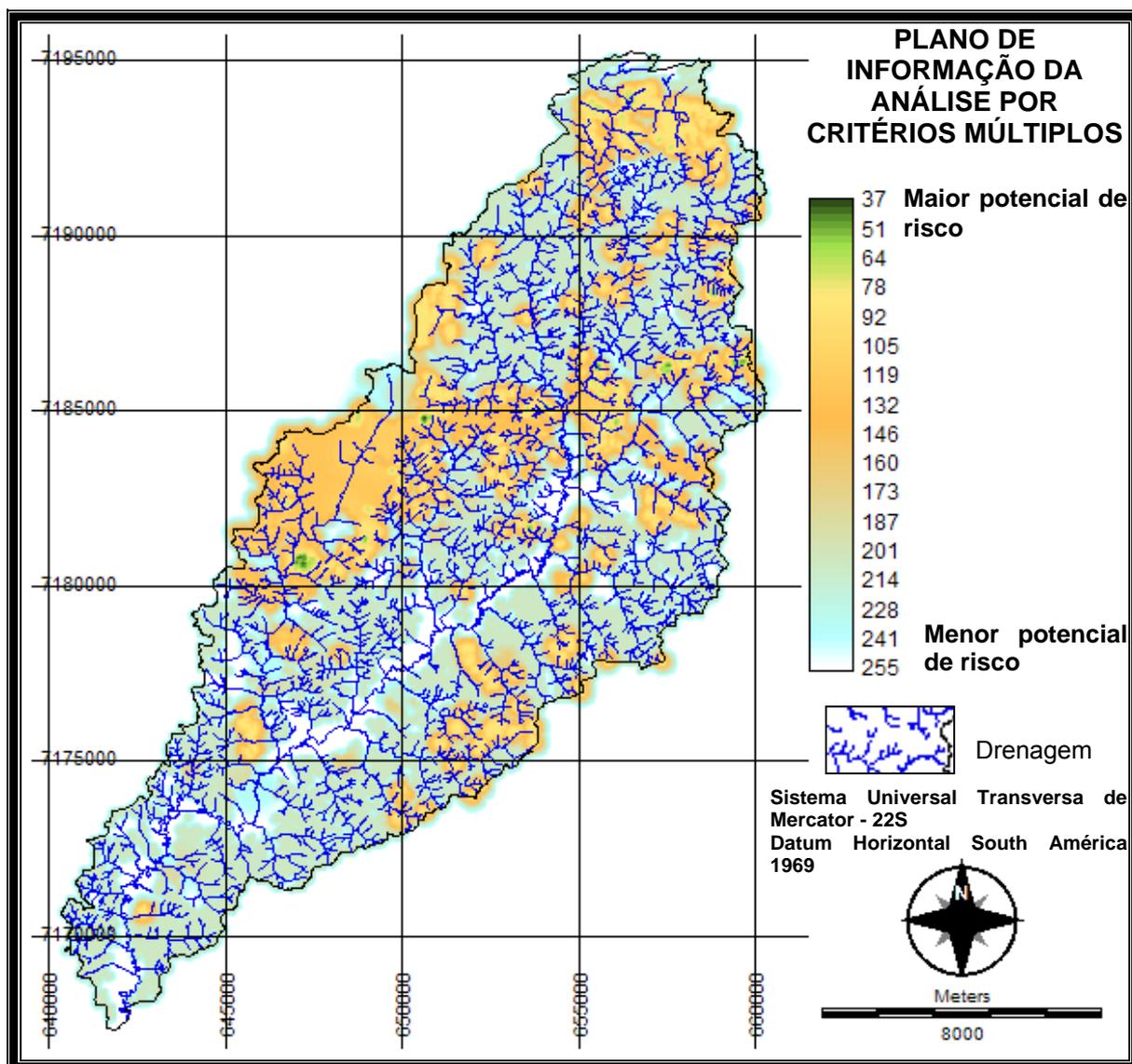


Figura 43 - Plano de Informação da Análise por Critérios Múltiplos.
FONTE: o autor (2010)

Desta forma o plano de informação anterior mostra o potencial de risco ambiental na bacia do Rio verde (figura 43), é o resultado direto da integração dos planos de informação das áreas industriais, áreas de mineração, áreas de solo exposto, áreas rurais e áreas urbanas, respeitando para cada fator, seu peso obtido na decisão por critérios múltiplos.

Posteriormente, com o objetivo de especificar mais a análise, o plano de informação gerado foi reclassificado em cinco intervalos de potencialidade de risco ambiental, utilizando o histograma gerado do plano de informação Análise por Critério Múltiplos.

Os níveis potenciais de risco ambiental foram reagrupados de tal forma obtendo-se as seguintes classes:

- Altíssimo risco ambiental de contaminação da drenagem na Bacia do Rio verde. Intervalo variando de 37 a 80.
- Alto risco ambiental de contaminação da drenagem na Bacia do Rio Verde. Intervalo variando de 81 a 123.
- Médio risco ambiental de contaminação da drenagem na Bacia do Rio Verde. Intervalo variando de 124 a 166.
- Baixo risco ambiental de contaminação da drenagem na Bacia do Rio Verde. Intervalo variando de 167 a 209.
- Baixíssimo risco ambiental de contaminação da drenagem na Bacia do Rio Verde. Intervalo variando de 210 a 255.

Portanto como citado anteriormente o procedimento de agregação através da Combinação Linear Ponderada, se baseia nas médias calculadas para cada fator de risco, a qual coloca as análises no meio do caminho, ou seja, nenhum risco extremo de contaminação e nenhum extremo de não contaminação da área de risco, com os fatores compensando uns aos outros. Através de tal técnica cada fator é multiplicado por seu peso e após a soma dos resultados estes são agrupados em um plano de informação único através de um cálculo executado pixel a pixel, gerando um mapa de áreas potenciais muito mais detalhado que uma simples análise Booleana, com valores variando de 0 a 255, tal procedimento se torna importante à medida que minimiza a possibilidade de erros (EASTMAN, 1998, p. 53).

Desta forma o procedimento permite a pesquisa não apenas reter a variabilidade dos dados contínuos, mas oferece também a possibilidade dos parâmetros ambientais compensarem-se uns com os outros, assim um baixo valor de um determinado índice de uma variável para uma área qualquer pode ser compensado por um alto valor para outra variável.

A figura 45 a seguir, apresenta o plano de informação análise por critérios múltiplos reclassificado, pode-se notar que diferente da análise booleana há uma distribuição mais homogênea destes pela bacia principalmente nas classes de risco médio, baixo e baixíssimo, (rosa, rosa claro, e rosa claríssimo). As áreas classificadas como altíssimo e alto risco (vermelho e vermelho escuro), localizam-se

em partes ao norte no centro-oeste e a sudeste da bacia, tais localizações correspondem respectivamente a bairros do município de Campo Magro, a sede do município de Campo Largo, partes urbanas principalmente no entorno da Colônia Cristina no município de Araucária e na parte central a BR-277 que corta a bacia.

Importante observar que os canais de drenagem na porção centro-sul da bacia estão em áreas com incidência menor de risco.

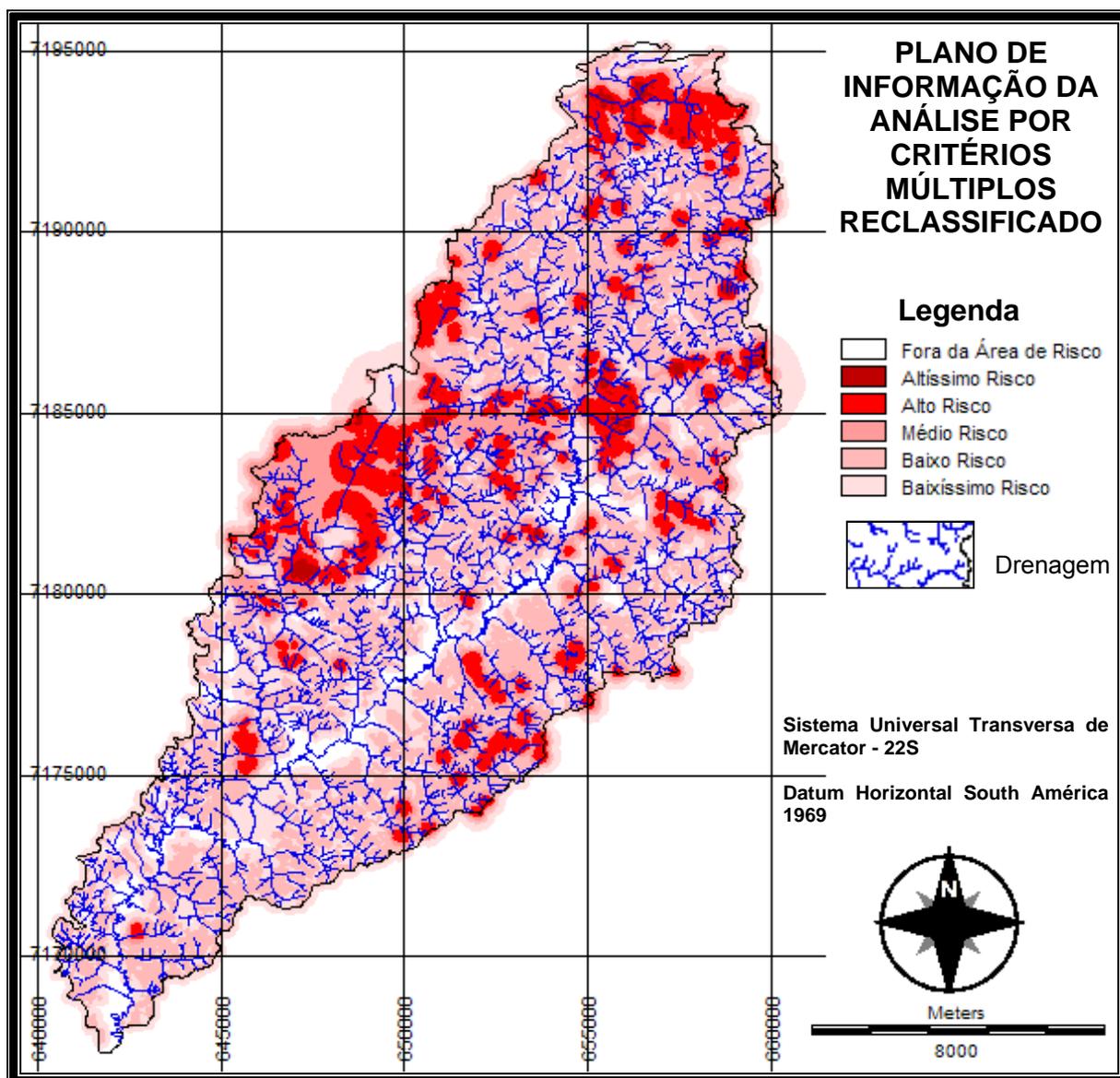


Figura 44 - Plano de Informação da Análise por Critérios Múltiplos Reclassificado.
FONTE: o autor (2010)

Tabela 11 - ÁREAS DE RISCO NA BACIA DO RIO VERDE ATRAVÉS DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO.

Legenda	Área (Hectares)	Área (%)
Altíssimo Risco de Contaminação	219,544	0,84
Alto Risco de Contaminação	3397,021	12,94
Médio Risco de Contaminação	3498,955	13,32
Baixo Risco de Contaminação	10071,671	38,36
Baixíssimo Risco de Contaminação	7908,955	30,12
Sem Risco de Contaminação	1156,729	4,42
Total ⁴	26253,064	100,00

FONTE: software IDRISI Andes, versão 15.00, (CLARK LABS, 2006)– cruzamento em laboratório dos dados obtidos dos planos de informação gerados para análise de risco na bacia do Rio Verde.

Após obter as áreas de risco através do processo por múltiplos critérios, foi necessário cruzar os resultados com o plano de informação relativo à drenagem, para se identificar os riscos a drenagem fluvial. Este procedimento é executado de maneira simples, agregando através da ferramenta CROSSTAB do IDRISI Andes, versão 15.00, (CLARK LABS, 2006) os planos de informação Análise por Critérios Múltiplos Reclassificado (figura 45) com o plano de informação Drenagem da Bacia do Rio Verde com Buffer de 30m (figura 27), obtendo-se desta forma as áreas de risco as drenagens fluviais na bacia do Rio Verde através dos pesos de importância relativa (figura 46).

⁴ Importante observar, que devido ao processo de obtenção das áreas de risco pelo processo Multicritério o valor total é maior que a área da bacia, pois o mesmo gera uma área de abrangência maior que o limite da bacia.

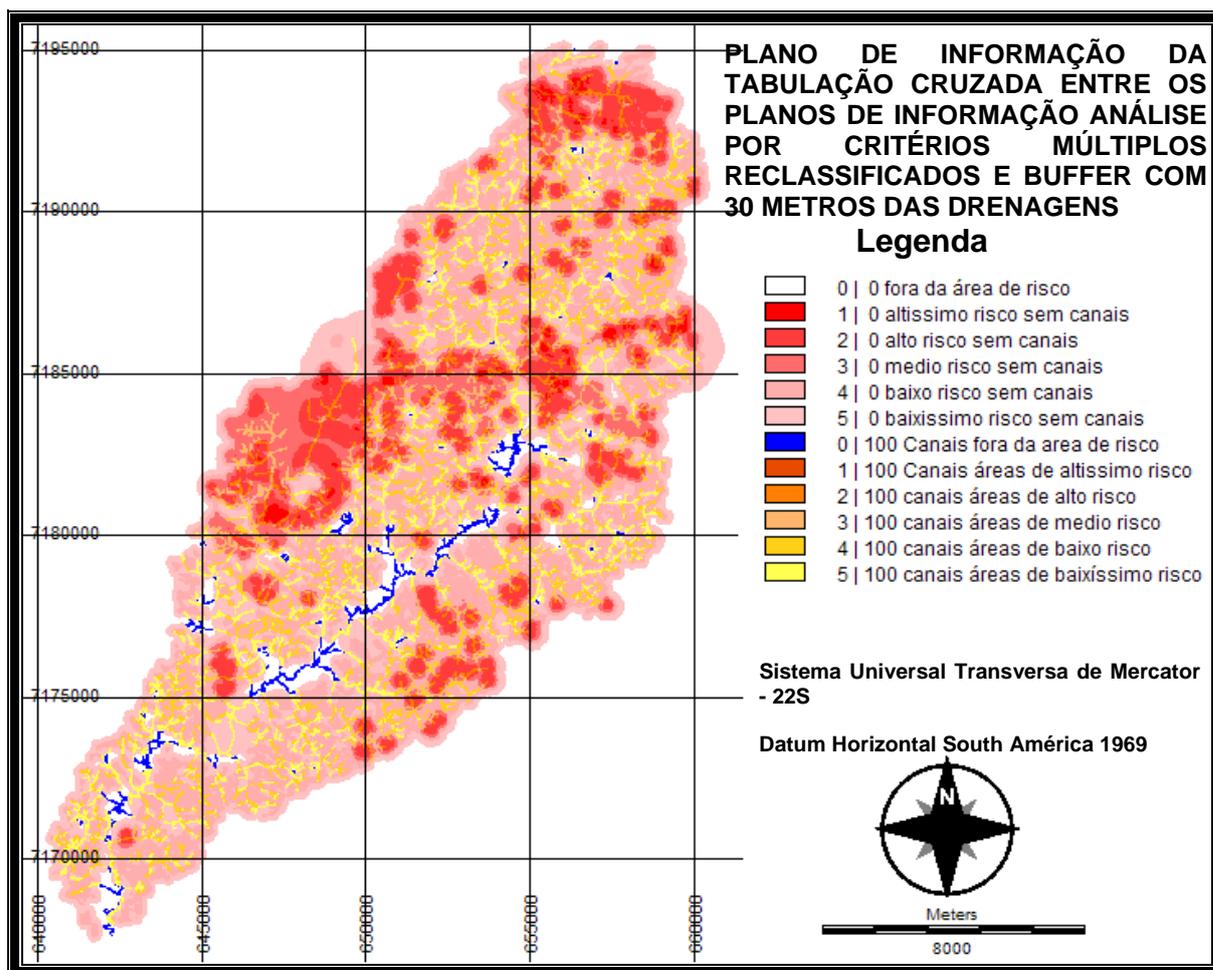


Figura 45 - Plano de Informação da Tabulação Cruzada Entre os Planos de Informação Análise por Critérios Múltiplos Reclassificados e Buffer com 30 Metros das Drenagens.
FONTE: o autor (2010)

Após o cruzamento dos dois planos de informação é necessário fazer novamente o processo de reclassificação para se obter apenas os canais em áreas de risco ambiental (figura 47).

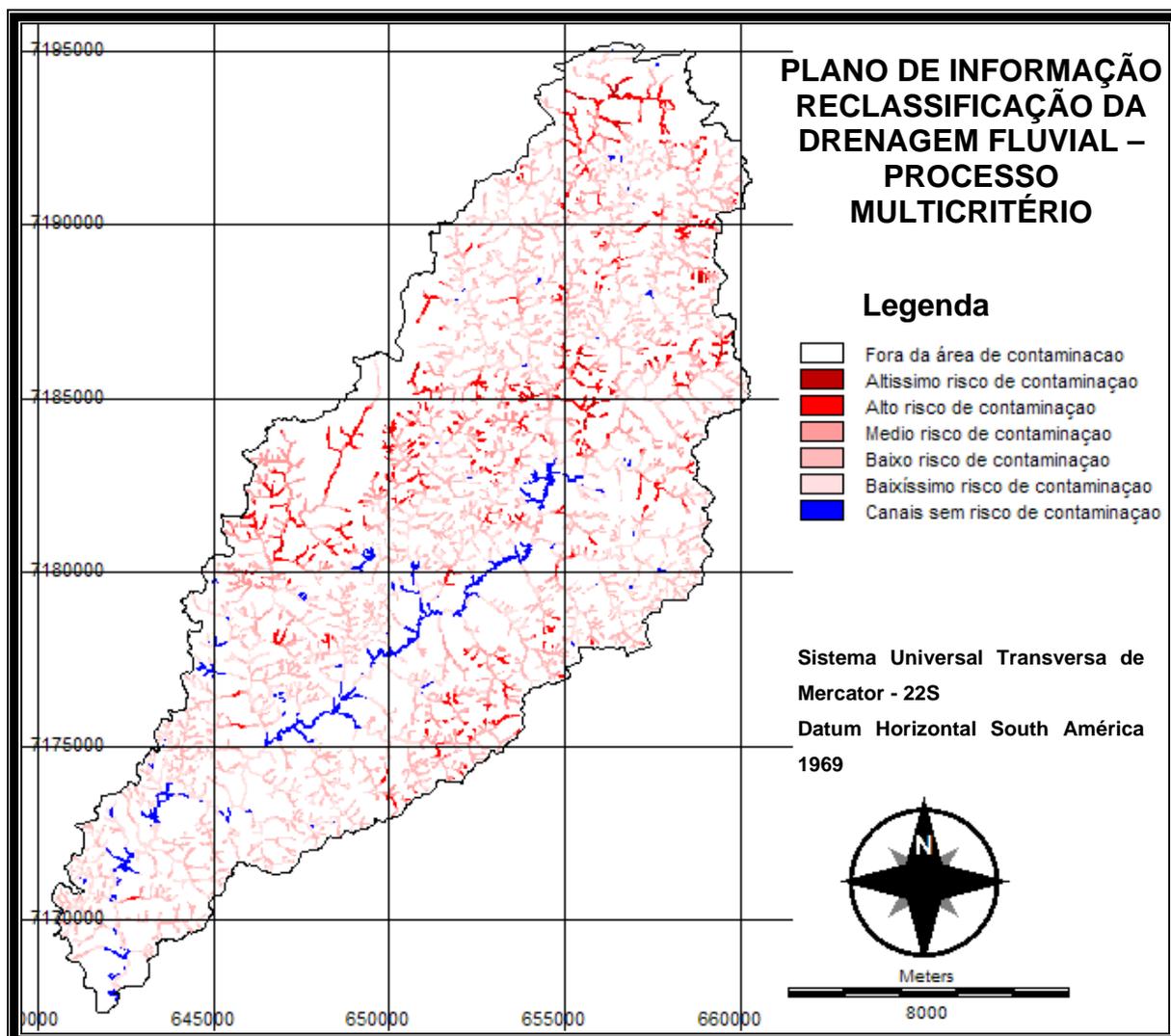


Figura 46 - Plano de Informação Reclassificação da Drenagem Fluvial – Processo Multicritério.

FONTE: o autor (2010)

Após extrair apenas às áreas com canais de drenagem fluvial e suas respectivas classes de risco ambiental, apenas aplicou-se a palleta final dos mapas de risco ambiental a drenagem fluvial na bacia do Rio Verde. O resultado é exibido a seguir no mapa final da análise fuzzy por critérios múltiplos (figura 47).

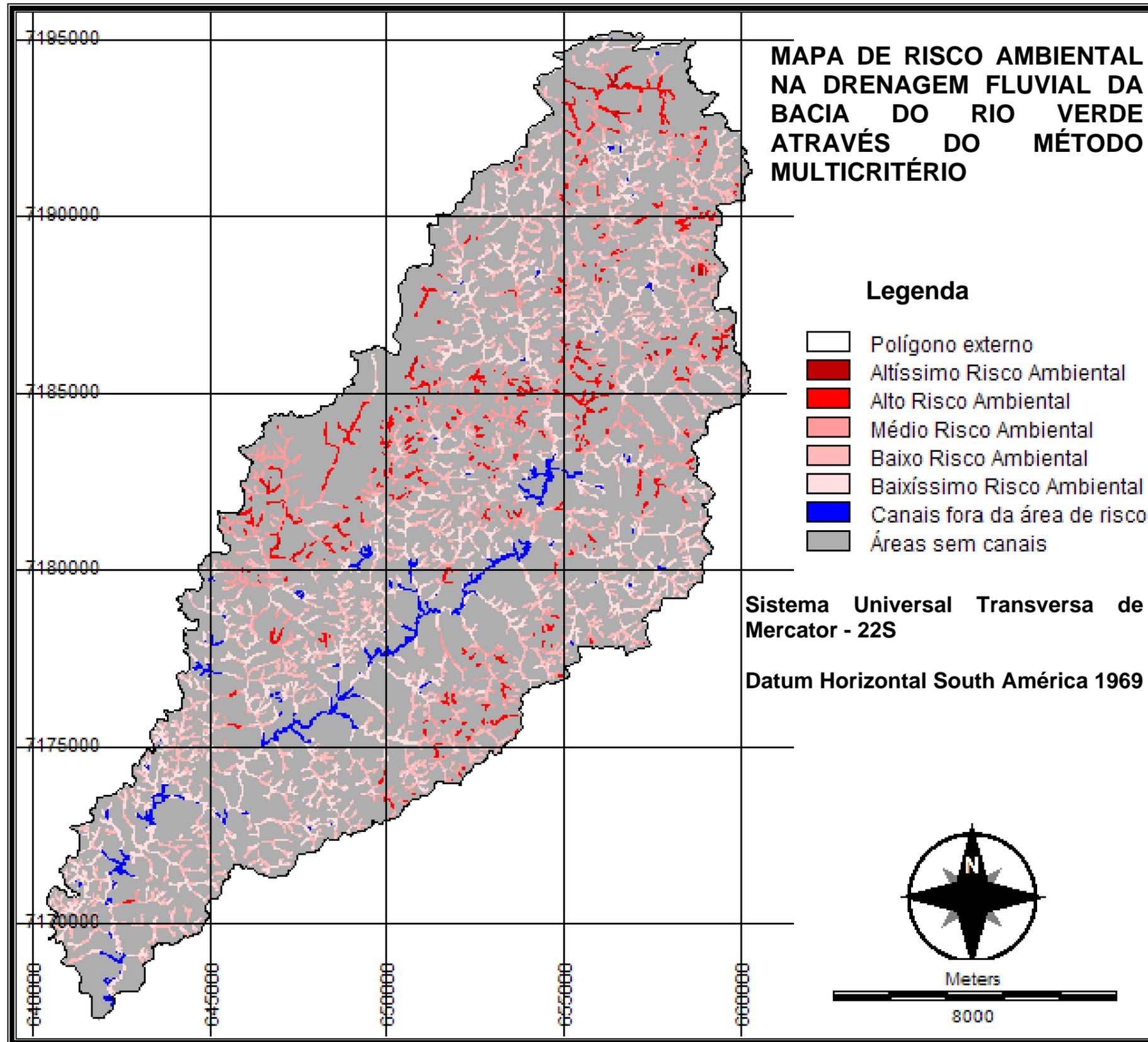


Figura 47 - Mapa de Risco Ambiental na Drenagem Fluvial da Bacia do Rio Verde Através do Método Multicritério.
FONTE: o autor (2010)

Tabela 12- RISCO AMBIENTAL NA DRENAGEM FLUVIAL DA BACIA DO RIO VERDE ATRAVÉS DO MÉTODO MULTICRITÉRIO.

Legenda	Área (Hectares)	Área (%)
Altíssimo Risco de Contaminação	42,483	0,72
Alto Risco de Contaminação	627,328	10,60
Médio Risco de Contaminação	817,882	13,83
Baixo Risco de Contaminação	2139,693	36,18
Baixíssimo Risco de Contaminação	1937,649	32,76
Canais sem Risco de Contaminação	348,377	5,91
Total	5913,412	100,00

FONTE: Adaptado pelo autor (2010).

5.10 VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DE ANÁLISE EM CAMPO.

Com propósito de validar os resultados obtidos entre o cruzamento dos fatores de risco ambiental (áreas industriais, áreas de mineração, áreas de solo exposto, áreas rurais e áreas urbanas), a drenagem fluvial na bacia do Rio Verde, foi necessário a ida a campo para aferir a veracidade dos resultados dos riscos ambientais obtidas nas análises de laboratório.

Importante ressaltar que observado as tabelas 09 e 12 (análise booleana e análise Fuzzy por critérios múltiplos), e o dados referentes às áreas de risco e suas respectivas áreas de risco a drenagem fluvial dentro da Bacia do Rio Verde, se evidenciou que se deve optar pela segunda, pois a mesma como anteriormente descrita no referencial teórico e constatado durante as análises foi a que mais se aproximou da realidade, tal realidade também foi observada em campo na bacia durante a validação das análises.

Desta forma utilizando o mapa definitivo da análise fuzzy pelo método multicritério (figura 48), junto com imagens aéreas da bacia, foram identificados de maneira amostral 14 pontos que representassem algum compartimento importante da bacia ou algum fator de risco, para a verificação dos resultados do risco ambiental a drenagem fluvial na Bacia do Rio Verde.

Elencados de “A” a “N” (tabela 12), tais pontos (figura 49) foram selecionados por possuírem atributos que facilitassem sua localização em campo como rodovias, estradas, bairros, Sede de Município, ponte e barragem. Os pontos se dividem em dois blocos, um ao sul da rodovia BR 277 (pontos “A” a “I”) e o outro ao norte da mesma rodovia (pontos “J” a “N”).

Os pontos foram reconhecidos em campo e suas coordenadas UTM, foram extraídas do mosaico georeferenciado das cartas topográficas da região.

TABELA 13 LOCALIZAÇÃO UTM⁵ DOS PONTOS NA BACIA DO RIO VERDE.

Ponto	Coordenada UTM	
	X	Y
A	652938.7	7184712.8
B	651773.2	7181959.7
C	652504.6	7181132.7
D	651667.4	7178919.7
E	652577.8	7176040.1
F	648073.9	7175586.2
G	646819.0	7175408.3
H	645944.2	7178613.3
I	648051.8	7183927.2
J	654681.0	7184982.1
K	654951.9	7186334.1
L	654735.4	7188166.9
M	655491.8	7191906.7
N	656035.6	7193277.0

FONTE: Cartas topográficas da Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba (COMEC), escala 1:10.000, ano 1976.

Desta forma, cada ponto foi selecionado em consonância com algum dos cinco critérios (áreas industriais, áreas de mineração, áreas de solo exposto, áreas rurais e áreas urbanas) da análise para que os mesmos pudessem de maneira mais objetiva ser avaliados e confrontados com a descrição física da bacia, servindo de base para duas aferições distintas. A primeira buscando comprovar a descrição física da área (vegetação, relevo, uso do solo, atividades econômicas) e a segunda

⁵ Universal Transversa de Mercator

validar os resultados obtidos nas avaliações em relação ao risco ambiental a drenagem fluvial na bacia do Rio Verde.

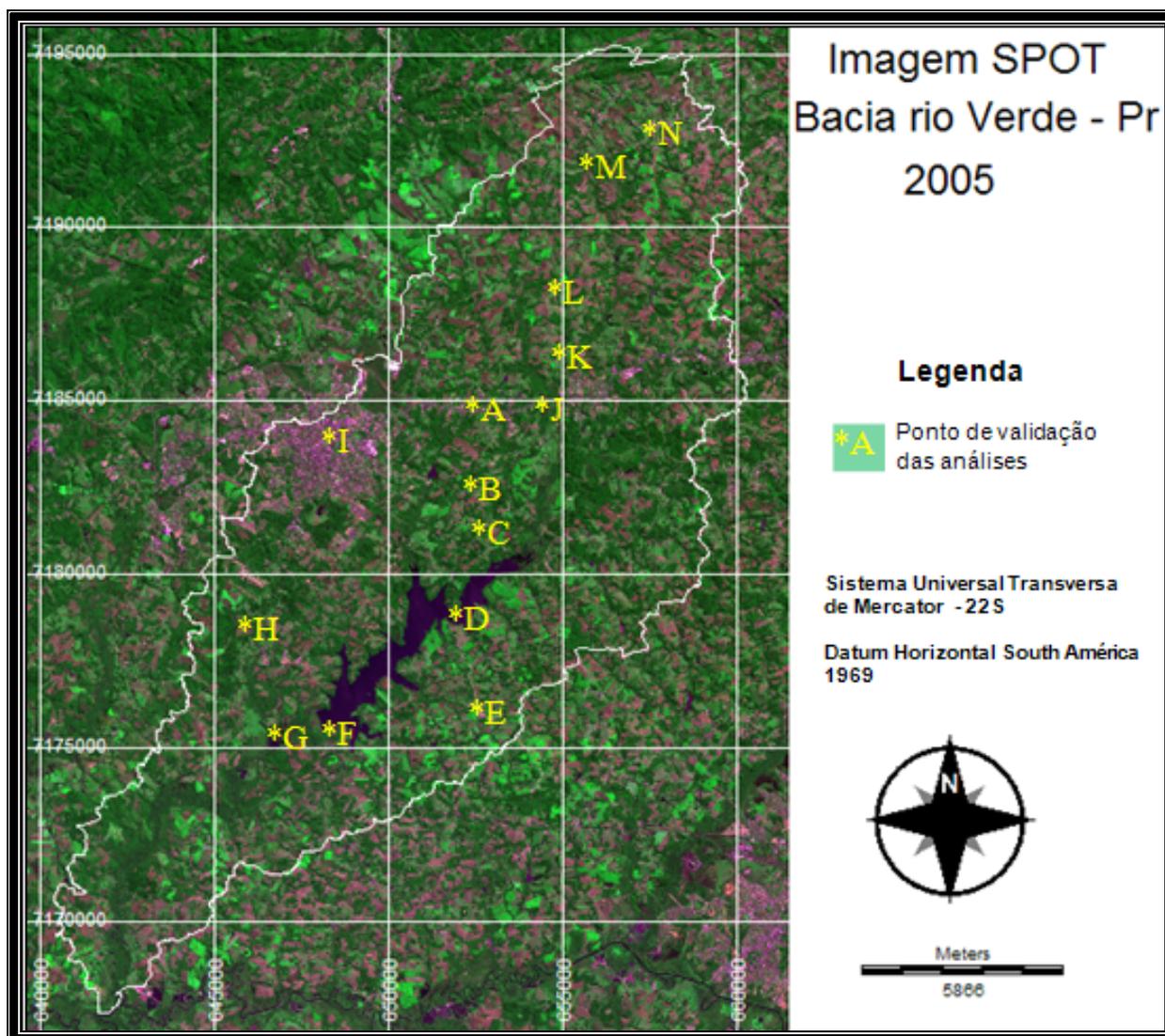


Figura 48 - Imagem Spot da Bacia do Rio Verde – PR.

FONTE: PROJETO RIO VERDE - LAPIGEO do Departamento de Geografia da UFPR.

5.10.1 Descrição Ambiental e Validação em Campo das Análises de Risco a Drenagem na Bacia do Rio Verde.

O ponto “A” se localiza próximo à cidade de Campo Largo, mais precisamente a margem da BR - 277 no início da Estrada da Sereia, esta adentra a Bacia do Rio Verde. Neste ponto é possível observar, forte pressão antrópica com urbanização do local, o relevo é ondulado e poucas são as ruas pavimentadas, a

estrada apesar de ser caminho secundário, é pavimentada e movimentada. Percorrendo 2600 m em direção sul, chega-se a uma estrada de saibro vicinal, este local já pode ser considerado como área rural da Bacia do Rio Verde no Município de Campo Largo (figura 50).



Figura 49 - foto 01, localização ponto A
FONTE: O Autor (2010).

O local do ponto “B” foi a primeira parada, para aferição dos dados em relação às análises de laboratório.

Neste ponto foi possível observar que o relevo é suavemente ondulado e formado por colinas baixas e arredondadas, o que facilita a mecanização do solo. Esta área como a maioria da bacia do Rio Verde é heterogênea, em relação ao uso do solo dividido em pequenas porções, observando as figuras 51 e 52, pode-se notar pequenas áreas de vegetação nativa com Araucárias situadas próximas aos canais de drenagem, há também algumas plantações de grãos, neste caso cultivo de milho, também é possível observar mecanização do solo.

Em relação às análises dos fatores de risco desta área as drenagens estão classificadas, como baixíssimo risco e baixo risco de contaminação. Os resultados conferem com a aferição feita em campo.



Figura 50 - foto 02, localização ponto B
FONTE: O Autor (2010).



Figura 51 - foto 03, localização ponto B
FONTE: O Autor (2010).

Três quilômetros ao sul, seguindo pela Estrada Veneza, se encontra a Colônia Mariana, Ponto “C”, local com traços da imigração italiana (figura 55) na região, é ponto de encontro dos moradores desta localidade principalmente aos finais de semana e feriados devido à localização da Capela.

Esta área é caracterizada por um relevo suave, com algumas construções, principalmente sede de chácaras, neste ponto há a criação de animais para consumo próprio e pequenas plantações de Milho, a vegetação, está preservada em algumas áreas como os fundos de vale.

O local se enquadra nos resultados obtidos nas análises Fuzzy/multicritério, em relação ao risco as drenagens, estando às mesmas classificadas como baixo e baixíssimo risco de contaminação.



Figura 52 - foto 04, localização ponto C
FONTE: O Autor (2010).



Figura 53 - foto 05, localização ponto C
FONTE: O Autor (2010).



Figura 54 - foto 06, localização ponto C
FONTE: O Autor (2010).

O ponto “D” localiza a ponte sobre o lago formado pela Barragem do Rio Verde na divisa entre Campo Largo e Araucária, a ponte não está em condições ideais de uso, pois há alguns buracos que podem ocasionar acidentes graves principalmente no período noturno, o que pode dependendo da carga contaminar o lago.

Este é o local onde os resíduos dos impactos ambientais sofridos pela drenagem se depositam, devido à diminuição da velocidade de escoamento da água causada pelo represamento do Rio Verde, esta diminuição da velocidade de vazão pode ocasionar assoreamento no lago e problemas a flora e a fauna aquática, principalmente com o crescimento de algas⁶, devido à entrada de componentes químicos utilizados na agricultura como adubos (fósforo e nitrogênio).

A paisagem neste ponto é bem tranqüila e desabitada, sobre a ponte observando as margens da represa é possível notar que a mata ciliar está preservada.

⁶ Eutrofização

As drenagens neste local, na análise Fuzzy/multicriterio se encontram classificadas como baixíssimo risco e baixo risco de contaminação. Aferindo o local, e considerando os cinco fatores elencados na proposta de riscos as drenagens, as mesmas estão classificadas de maneira corretas.

Um ponto interessante, que deve ser observado neste local é que no processo de formação do lago não houve a preocupação da retirada das árvores como há atualmente nos processos de licenciamento ambiental, isto ocasiona acúmulo de matéria orgânica no lago, que ainda pode ser visto em plantas que crescem nas pontas das árvores que floresciam no vale antes do alagamento deste (figura 57).



Figura 55 - foto 07, localização ponto D
FONTE: O Autor (2010).



Figura 56 - foto 08, localização ponto D
FONTE: O Autor (2010).

O ponto “E” está localizado próximo à borda oriental da Bacia, mais especificamente na Colônia Cristina, nesta área ao observar o mapa de riscos a drenagem fluvial o mesmo mostra, que os canais neste local estão, em níveis de risco ambiental entre o alto (principalmente na sede da colônia), passando pelos níveis médio e baixo, seguindo os parâmetros e critérios estipulados, a classificação dos níveis de risco ambiental procede em relação aos resultados obtidos ao risco as drenagens, pois a sede da colônia está muito urbanizada, contando inclusive com impermeabilização do solo (asfalto) e com silos industriais em plena atividade de beneficiamento. (figura 58).

O relevo no local é suave, mas diferente das partes ocidentais do lago da Represa do Rio Verde no município de Campo Largo, neste ponto em específico a vegetação não está tão conservada, com muitas áreas de cultivo, inclusive algumas com o solo exposto (figura 59), o que certamente ocasiona carreamento de material particulado comprometendo a qualidade da água, pois aumenta a turbidez e conseqüentemente assoreia as drenagens e o lago da Barragem do Rio Verde.



Figura 57 - foto 09, localização ponto E
FONTE: O Autor (2010).



Figura 58 - foto 10, localização ponto E
FONTE: O Autor (2010).

O Ponto “F” localiza a Barragem do Rio Verde, que segundo dados da Petrobras possui um reservatório de 80km² de área com um volume médio de 96.000.000 m³. Apesar de esta ser a grande obra que ocasionou mudanças na dinâmica da drenagem nas partes mais baixas da bacia, o local pode ser considerado preservado, pois ao analisar a barragem e seu entorno a área não possui depósitos de lixo e outros materiais, inclusive não há sinais de restos de entulhos da construção da barragem, é nítido o zelo por parte da Petrobras com a barragem que a princípio esta muito bem cuidada e preservada, neste local não foi possível observar de cima do dique, pois os funcionários da Petrobras não permitem análises sobre a Barragem.

Neste ponto as drenagens condizem com a classificação obtida em laboratório de baixíssimo e baixo risco ambiental de contaminação.



Figura 59 - foto 11, localização ponto F
FONTE: O Autor (2010).



Figura 60 - foto 12, localização ponto F
FONTE: O Autor (2010).

O Ponto “G”, que também pode ser também denominado por “alagados do rio Verde” (figura 62), é uma área de várzeas com um ecossistema frágil, mas aparentemente preservado, pois pode se observar a presença de aves. Importante notar que estes alagados se formam a apenas algumas centenas de metros a jusante da Barragem do Rio Verde.

Neste local as drenagens estão classificadas como Baixíssimo e Baixo risco de contaminação. Levando-se em conta os cinco fatores de risco ambiental anteriormente citado dentro das análises, está correto o resultado.

Porém neste ponto um comentário se faz necessário, pois o local é cortado pela PR – 423, e uma análise ambiental mais criteriosa deve incluir esta variável na avaliação, pois o movimento de cargas e veículos é intenso sobre essa área alagada.



Figura 61 - foto 13, localização ponto G
FONTE: O Autor (2010).

O ponto “H” localiza um trecho da Rodovia PR-423 na borda ocidental da bacia, segundo o Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná, a PR-423 é uma Rodovia pertencente ao Governo do Paraná que liga as cidades de Araucária iniciando na BR-476 a Campo Largo terminando na BR-277/BR-376. Seu nome é Rodovia Engenheiro Adolar Schultze, de acordo com a Lei Estadual 10.521 de 11/11/1993. A rodovia possui uma extensão total de aproximadamente 37,2 km, incluindo um trecho de 9,4 km apenas planejado.

A Rodovia PR-423 (figura 63) se encontra em mal estado de conservação e com um tráfego considerável de veículos, principalmente caminhões transportando todos os tipos de cargas pelo que foi constatado em campo.

A classificação, desta área segundo dados obtidos em laboratório em relação ao risco a drenagem fluvial esta predominantemente entre o baixíssimo e baixo risco, mas devido a não se ter considerado a PR – 423 como critério de risco ambiental a drenagem, é possível que esta não seja a melhor classificação para a área acima descrita, devido a grande possibilidade de acidentes com materiais tóxicos que podem atingir os canais de drenagem, e a constante dispersão de

matérias poluentes na pista como combustíveis, graxas e borracha dos pneus que invariavelmente com as chuvas são carregados para as drenagens nas partes mais baixas.



Figura 62 - foto 14, localização ponto H
FONTE: O Autor (2010).

O ponto “1” (figuras 64 e 65) é a parte central da região com maior densidade populacional na bacia do Rio Verde, pois parte da sede do município de Campo Largo está localizado dentro da bacia.

O ponto localiza a praça com o fórum do município de Campo largo. Trata-se de um local densamente povoado, com diversos tipos de serviços comuns a maioria das cidades da região metropolitana de Curitiba.

Percorrendo a sede do Município na parte que fica dentro da Bacia do Rio Verde se nota alterações da paisagem natural, com mudanças da ecodinâmica,

canalização de drenagens, alteração na qualidade do ar, ausência de flora nativa poluição dos corpos d'água, acúmulo de lixo e intenso fluxo de veículos.

Neste local o mapa de risco a drenagem mostra, que os níveis de risco ambiental estão na maioria variando entre médio e alto risco de contaminação, e aparecem pequenas áreas onde as drenagens estão classificadas como altíssimo risco de contaminação.

Com base na descrição da paisagem no local do ponto "I", se validam os resultados obtidos em laboratório, referentes aos níveis de risco ambiental as drenagens fluviais.



Figura 63 - foto 15, localização ponto I
FONTE: O Autor (2010).



Figura 64 - foto 16, localização ponto I
 FONTE: O Autor (2010).

Ponto “J” (figura 66) esta na área central da bacia do Rio Verde se localiza sobre a BR-277, que segundo o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, é uma Rodovia Federal Transversal inaugurada em março de 1969, com 730 km de extensão, com início no Porto de Paranaguá e término na Ponte da Amizade, em Foz do Iguaçu. Saindo de Curitiba, a rodovia se sobrepõe a Rodovia do Café, até sua intercessão com seu trajeto original no km 140.

A BR-277 é parte integrante da Rodovia Pan-americana⁷ que, de Lima, Capital do Peru, chega a Paranaguá (PR) no Atlântico, após atravessar a Bolívia e o Paraguai.

Dentro do Estado do Paraná a BR-277 se constitui como a espinha dorsal do sistema rodoviário, pois as Rodovias Federais e Estaduais a cortam ou para ela convergem. Recebendo a Rodovia do Café, canaliza para o Porto de Paranaguá a

⁷ Essa rodovia corta o Estado do Paraná no sentido leste-oeste, ligando o Porto de Paranaguá a Curitiba, Campo Largo, Irati, Ponta Grossa, Guarapuava, Laranjeiras do Sul, Cascavel, Foz do Iguaçu, interliga-se com a "Ruta 7" (Rodovia Transparaguai); esta, também estendendo-se através de 330 km, alcança Assunción; daí a estrada segue rumo à Cañada de Oruro, fronteira com a Bolívia, passa por Santa Cruz de La Sierra, Cochabamba, La Paz. É a "Ruta 33" da Bolívia. Interligando Cuzco, Nazca e Lima, no Peru.

produção agrícola do Estado do Paraná, a mesma leva em sentido inverso para o interior produtos importados através do porto de Paranaguá e parte da produção da região metropolitana de Curitiba. Além de sua importância econômica, acresce seu indiscutível valor social, político, estratégico e turístico, como "corredor do MERCOSUL".

A área apontada pelo ponto "J" recebe pressão ambiental devido ao enorme volume de cargas e pessoas circulando pela BR-277 o que leva a riscos intensos de derramamento de produtos tóxicos nos rios da região em caso de acidentes rodoviários, há ainda os riscos ambientais causados pelos resíduos deixados por veículos, como combustível, óleos, graxas e borracha que são carregados pelo escoamento superficial das chuvas para os fundos de vales e conseqüentemente para as drenagens.

Neste ponto a análise e o cruzamento dos fatores aferiu a localidade riscos à drenagem variando do médio ao alto risco de contaminação, principalmente devido aos fatores urbanização e indústrias, pois a rodovia não foi considerada um dos fatores de risco nesta análise, porém como seu entorno é muito urbanizado as análises em relação aos níveis de risco obtidas em laboratório conferem com a realidade constatada no local.



Figura 65 - foto 17, localização ponto J
FONTE: O Autor (2010).

O Ponto “K” se localiza na porção norte da Bacia em relação a BR-277, fica em Campo Largo em uma área de transição do urbano para o rural bem próximo a BR-277 (cerca de 1300 metros), apesar da proximidade com a rodovia é notório o uso e ocupação do solo por atividades mistas entre as rurais e residenciais com algumas chácaras com áreas construídas razoáveis.

Esta área possui relevo ondulado, e a drenagem esta canalizada com correnteza forte e turbidez elevada, devido à chuva dos dias anteriores. As margens da drenagem não possuem proteção de vegetação, o canal recebe água canalizada proveniente das residências (figura 67). Nas encostas a margem da estrada que segue paralela a essa secção da drenagem é possível visualizar culturas como o milho.

O local está degradado como outras áreas, que podem ser consideradas de transição entre o urbano e o rural na bacia do Rio Verde, é possível observar (figuras 67 e 68) que as águas de escoamento superficial chegam diretamente à drenagem sem nenhum obstáculo natural para o carreamento de materiais sólidos.

Pela classificação obtida nas análises dos dados esta confere com o mostrado pelo mapa final de risco a drenagem fluvial na bacia, com os riscos variando de médio a alto neste local.



Figura 66 - foto 18, localização ponto K
FONTE: O Autor (2010).



Figura 67 - foto 19, localização ponto K
FONTE: O Autor (2010).

O ponto “L” localiza a Capela Nossa Senhora da Luz, na Colônia Figueiredo no município de Campo Largo, (figura 69) esta fica no topo de uma colina suave, é

um local tranqüilo onde se observou pouca pessoa circulando, porém a quantidade de propriedades rurais é mais intensa, com menor quantidade de áreas verdes que as áreas visitadas mais ao sul da Bacia (figura 70).

Neste ponto é possível observar barracões, com implementos agrícolas de grande porte como colheitadeiras, tratores e trilhadeiras, há ainda no local galpões que armazenam sementes e adubos. Na área que está localizada a Capela não existe mais traços da vegetação nativa e a estrada apesar de ser de saibro, esta bem compactada demonstrando um fluxo mais intenso de veículos e maquinários no local.

Considerando as análises em relação aos fatores de risco ambiental, neste local as drenagens estão caracterizadas como suscetíveis a médio e alto risco de impacto ambiental, utilizando por base os cinco fatores mencionados como condicionantes de risco, os resultados de risco ambiental as drenagens fluviais no local estão dentro do esperado.



Figura 68 - foto 20, localização ponto L
FONTE: O Autor (2010).



Figura 69 - foto 21, localização ponto L
FONTE: O Autor (2010).

O ponto “M” aponta uma área com relevo mais ondulado que os demais pontos visitados na Bacia, o que ocasiona uso do solo diferenciado. A estrada literalmente serpenteia pela encosta, nas partes mais onduladas do terreno sempre em direção ao fundo do vale criando canais preferências para o escoamento das águas superficiais diretamente para a drenagem no fundo do vale.

Por possuir uma topografia mais acidentada o uso do solo é bem heterogêneo, podendo se observar nas áreas que as máquinas não atingem que ainda existem vestígios de mata nativa, há algumas propriedades rurais, que cultivam hortaliças (figura 71), e algumas com moradias

O que chama mais a atenção neste ponto é a forma que a drenagem esta modificada pela ação antrópica, há algumas residências rurais por perto, mas ao que parece, é que o local é utilizado para coleta de água, pois é possível notar um dique improvisado junto à pequena ponte nesta parte específica da bacia (figura 72), neste ponto as margens estão deterioradas, e inclusive há entulho como pedras e solo que certamente não são do local formando o dique e a passagem de carros.

Este ponto segundo as análises é classificado como médio e alto risco de contaminação a drenagem. Portanto as análises conferem com os dados verificados em campo.



Figura 70 - foto 22, localização ponto M
FONTE: O Autor (2010).



Figura 71 - foto 23, localização ponto M
FONTE: O Autor (2010).

O ponto “N” (figuras 73 e 74) se localiza na parte setentrional da bacia, mais precisamente na Rodovia PR-090⁸, que segundo Departamento Estadual de Estradas de Rodagem é uma estrada pertencente ao Governo do Paraná e liga a cidade de Curitiba até a PR-170, em Alvorada do Sul, a aproximadamente 3 km da divisa com o Estado de São Paulo.

A mesma passa pelo município de Campo Magro parte final da análise de campo e se encontra extremamente deteriorada, neste ponto o fluxo de veículos é médio, existe comércio e serviços na margem da Rodovia, e é notório o abandono pelas autoridades em relação a conservação da estrada que não possui sinalização, pintura e acostamento, a Rodovia com certeza é um agente de risco ambiental na Bacia do Rio Verde.

⁸ Esta é uma das rodovias mais tradicionais do Estado, também conhecida como Rodovia do Cerne. É denominada de Rodovia Engenheiro Ângelo Ferrario Lopes (Decreto Estadual nº 5.546 de 18 de outubro de 1982).

O local está classificado segundo as análises de laboratório como alto e altíssimo risco de contaminação a drenagem. A observação em campo do local valida à classificação de risco.



Figura 72 - foto 24, localização ponto N
FONTE: O Autor (2010).

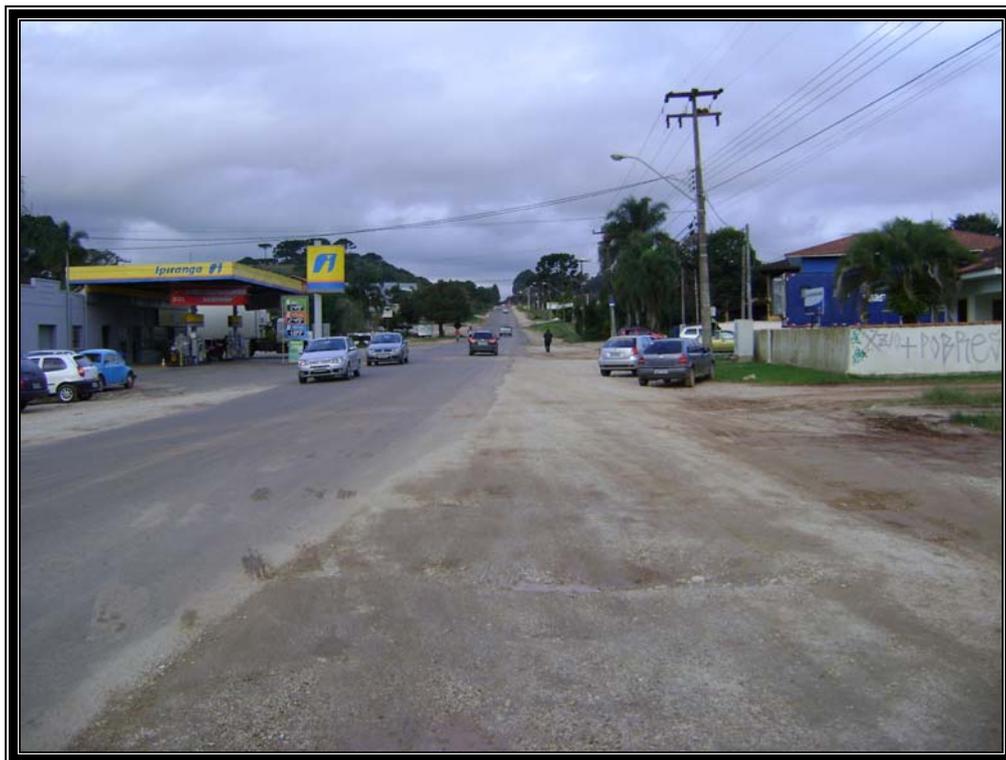


Figura 73 - foto 25, localização ponto N
FONTE: O Autor (2010).

6 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Depois de efetuadas as análises e validação dos resultados obtidos em laboratório, se observou que a bacia do Rio Verde possui variado e dinâmico uso do solo, todos com características específicas, níveis de risco ambiental com diferentes escalas, porém intimamente correlacionados uns aos outros e afetando diretamente o equilíbrio do sistema de fluxo de energia e matéria.

Tal fluxo é claramente afetado pela rodovia BR-277 que é o principal vetor no sistema *input/output*, de pessoas, matérias e na disposição dos principais pontos urbanos e áreas industriais dispostos principalmente em seu entorno. Este mesmo sistema pode ser observado em menor escala nas rodovias PR-090 no extremo norte da bacia e pela PR- 423 ao sul.

Outra alteração antrópica de larga escala dentro da bacia do Rio verde, é o lago formado pelo represamento do canal principal do Rio Verde para fornecimento de água para refinaria Getúlio Vargas da Petrobras, tal lago recobre uma área de 80Km² destruindo áreas importantes para reprodução da fauna como várzeas, campos e áreas de floresta, mudando a dinâmica hidrológica na parte central da bacia com desaparecimento de drenagens, elevação do nível do lençol freático, diminuição da velocidade do escoamento da água no reservatório, ocasionando problemas de assoreamento e acúmulo de produtos químicos que levam a eutrofização das águas e prejudica a fauna aquática.

Dos resultados obtidos em relação aos fatores de risco, se pode observar que as indústrias concentram-se principalmente as margens da rodovia BR-277 e na sede do município de Campo Largo, estes são fatores que podem causar intensos processos de degradação ambiental, requerendo desta forma por parte das autoridades e da própria comunidade, que exijam que se criem e apliquem programas de tratamento de resíduos, principalmente os efluentes que são causadores de severos impactos as drenagens e que por se integrarem a um sistema formado por uma rede pode impor impactos de larga escala na bacia.

As áreas de mineração apesar de serem pontuais dentro da Bacia do Rio Verde, devem ser analisadas sob uma ótica conservacionista muito rígida, pois tais atividades envolvem mudanças severas na paisagem e geralmente localizam-se em

locais afastados, o que também leva a mais impactos como a abertura do acesso a tais lugares. Por este tipo de atividade ser essencial para a sociedade e mesmo a economia dos municípios, deve ser apoiada em leis e normas muito rígidas, pois tais áreas após esgotadas suas jazidas devem ser recuperadas através de estudos balizados por critérios ambientais rígidos, onde se busque devolver ao máximo dentro das possibilidades as condições de equilíbrio ambiental da área antes do processo de extração.

Em relação às áreas de solo exposto, dentro da bacia do Rio verde, estas estão distribuídas de maneira heterogênea, principalmente próximo a BR-277 e alguns bairros mais afastados de Campo Largo na transição entre as áreas urbanas e rurais. Tal fator de risco ambiental chama a atenção por se tratar de áreas que por falta de cobertura vegetal não possuem nenhum tipo de proteção contra o processo de lixiviação, o que dependendo do gradiente de declividade e do tipo do solo causam intensos processos de assoreamento as drenagens próximas. Porém tal problema, dos cinco fatores elencados nesta pesquisa, é o que possui resolução mais simples, pois com alguns estudos se poderia de maneira rápida recobrir tais áreas com algum tipo de cultura, ou mesmo desenvolver um estudo mais detalhado, buscando recompor a vegetação original desta áreas.

As áreas rurais representam o fator de maior incidência de risco ambiental a drenagem fluvial. Incidi com alguma importância sobre 81,96% das drenagens dentro da bacia devido sua intensa distribuição. Tal fator de risco apenas não é observado no entorno da BR-277, a oeste da bacia na sede do município de Campo Largo por serem áreas intensamente urbanizadas, e nas partes próximas ao canal principal do Rio Verde.

Estas áreas possuem limites menores de abrangência em relação aos outros fatores de risco na bacia do Rio Verde, porém recobrem áreas maiores, ocasionando proporcionalmente maiores impactos ao meio ambiente principalmente pelas técnicas agrícolas empregadas como revolvimento do solo a cada novo plantio o que pode provocar lixiviação e assoreamento das drenagens, há também o uso de herbicidas e pesticidas, que provocam impactos a flora a fauna, contaminação do lençol freático e das drenagens que espalham por quilômetros a jusante tais elementos químicos perniciosos ao meio ambiente. Tais problemas não são de fácil resolução pelo gestor público ou mesmo pela sociedade civil, pois a agricultura é fator importante na economia dos municípios, e também esteio de subsistência de

comunidades inteiras dentro da bacia do Rio Verde. Portanto através de estudos deve-se buscar propostas para diminuir os impactos, imposto pela agricultura seja ela familiar ou de larga escala, buscando sempre uma solução de longo prazo e definitiva, como a educação ambiental com projetos que auxiliem os produtores e agregue valor a sua produção através do uso consciente e correto do meio ambiente em seu sistema produtivo, objetivando o equilíbrio ambiental entre as atividades rurais e o meio ambiente.

O último fator de risco as drenagens a ser analisado nesta pesquisa foram às áreas urbanas, que se demonstrou muito aquém do desejado em relação a uma pratica conservacionista de uso do solo para se manter a qualidade das drenagens, nas áreas mais afastadas dos centros urbanos, e no entorno da BR-277, PR-090 e PR-423 é visível a falta de infra-estrutura urbana básica como ruas sem asfalto, calçamento, redes de esgoto, observa-se apenas arruamento abertos em ruas de saibros que formam canais preferências para o escoamento das águas pluviais que ganham velocidade e carregam, além de solo, lixo que se pode observar depositado pelas ruas para as parte baixas do relevo, contaminando a rede fluvial, neste locais da bacia seria necessário investimento públicos para melhorar a estrutura dos bairros estudos de impactos ambientais visando aumentar a qualidade de vida das pessoas, e buscar junto a instituições como ONGs, Igrejas, associação de moradores, escolas, implantar ações educativas e mitigadoras em relação à degradação imposta à bacia principalmente com os resíduos sólidos depositados por essas populações na bacia do Rio Verde.

Na parte oeste da bacia na sede do município, se observa intensa urbanização e total impermeabilização do solo, o que muda de maneira drástica as condições de escoamento superficial e percolação, afetando diretamente as drenagens que recebem maior volume hídrico e os lençol freático que recebe menor reposição devido à impermeabilização do solo. Tais áreas possuem grande variedade de usos para o solo principalmente os ligados às áreas residenciais e comerciais e industriais, e intenso aporte demográfico, ocasionando pontos de instabilidades com intenso fluxo de matéria e energia neste ponto da bacia, o que ocasiona quadros de desequilíbrio ambiental no sistema. Estes problemas necessitam de estudos de impactos ambientais de grande monta, baseado na interdisciplinaridade, buscando soluções de médio a longo prazo, visando uma

cidade e também cidadãos com atitudes mais sustentáveis, conservacionista e educados a buscarem sempre uma relação de equilíbrio com o sistema ambiental

Tal fator de risco pode ser observado em menor proporção, porém com os mesmos problemas na parte norte da bacia em bairros do município de Campo Magro e a sudeste em partes mais urbanizadas próximas a Colônia Cristina no município de Araucária.

Em relação à proposta deste trabalho parte do objetivo inicial foi alcançado ao se identificar áreas de risco ambiental (Áreas urbanas, Áreas rurais, Áreas de mineração, Áreas de solo exposto e áreas Industriais) a drenagem fluvial na Bacia do Rio Verde, e as classificar em cinco níveis que variassem do baixíssimo ao altíssimo risco de contaminação as drenagens, a outra parte se alcançou ao conhecer e entender o meio físico, agregando a isto os impactos da ação antrópica com os diferentes usos do solo, que intimamente ligados à dinâmica natural, associam-se aumentando a intensidade e a possibilidade de impactos ao meio ambiente.

Importante observar a eficiência da metodologia empregada, através da qual foi possível a elaboração de cenários de risco a drenagem fluvial, em todos os cinco fatores de risco elencados para a análise.

Além da identificação das áreas de influência com seus devidos níveis de risco ambiental relativo ao tipo de uso do solo, também foi possível classificar o risco que estes fatores somados causam a drenagem fluvial na bacia do Rio Verde, o conjunto de mapas temáticos gerados, nesta análise e o banco de dados georreferenciados das informações obtidas, forneceu embasamento para a realização de novos cruzamentos gerando novas informações, que levou o Geoprocessamento a integrar todas as etapas, no que diz respeito à classificação do risco ambiental dentro da bacia.

Em relação às análises e resultados, pode-se afirmar que na avaliação dos cinco critérios de uso do solo utilizados como fatores de risco ambiental, a ocorrência de cada variável (Áreas Industriais, Áreas de Mineração, Áreas de Solo Exposto, Áreas Rurais, e Áreas Urbanas) mostrou distribuição coerente entre os diferentes graus de impacto esperado para cada item, validando os critérios utilizados na escolha destes fatores.

Importante ressaltar que a proposta Fuzzy utilizando pesos (múltiplos critérios) se mostrou superior, e teve sua eficácia comprovada ao demonstrar-se

mais próxima a realidade, pois comparada ao método clássico Booleano, que apresentou a maioria das drenagens fluviais da bacia classificadas com risco ambiental variando entre altíssimo e alto. A metodologia Fuzzy mostrou que o risco as drenagens fluviais na bacia do Rio Verde encontram-se na maioria classificadas em níveis intermediários ou de baixo risco ambiental e com características muito próximas às demonstradas em laboratório e posteriormente confirmadas em campo.

Apesar de não invalidar o estudo, e os resultados obtidos em laboratório estarem dentro do esperado com a avaliação de campo, constatou-se a necessidade de que deveria se ter incluído mais alguns fatores no estudo de risco ambiental à bacia do Rio Verde.

Desta forma segue algumas recomendações para a delimitação desses critérios visando um aprofundamento da análise em um próximo estudo.

Identificar e incluir os tipos de estradas quer sejam rodovias, arruamentos, estradas secundárias ou acessos a propriedades rurais, e sua importância para o objetivo da análise, pois como citado nas análises de campo, principalmente as Rodovias são fatores de forte impacto e risco ambiental na bacia do Rio Verde e foram deixadas de fora das análises. Certamente em uma avaliação que contemple tal critério algumas drenagens seriam consideradas com maior risco ambiental do que se apresentam neste estudo.

Outros pontos a considerar, seria a identificação de áreas ocupadas por empreendimentos de utilidade pública, como linhas de transmissão, antenas, captação de água, oleodutos e outros.

Ainda na avaliação de campo se constatou que a topografia deveria ter sido um fator considerado, já que na bacia do Rio Verde a parte sul se diferencia topograficamente da parte norte, e em algumas áreas somando os fatores de uso do solo mais a declividade estas certamente seriam classificadas com risco ambiental maior.

Diante de tais afirmações, se observa que o presente estudo apresenta validada a proposta metodológica empregada e a necessidade de considerar em uma análise futura, mais parâmetros para subsidiar definições mais precisas das áreas e dos níveis de risco ambiental na Bacia do Rio Verde.

Assim ao se considerar a importância que o manejo correto das Bacias hidrográficas tem na preservação do meio ambiente, se torna cada vez mais

necessário que as ações antrópicas de uso do solo sejam absolutamente compatíveis com as potencialidades e as restrições dos aspectos naturais da bacia.

Portanto, é neste momento que estudos e projetos que considerem as condições atuais das bacias e as prováveis implicações sobre o meio ambiente destas, se tornam imprescindíveis para o correto uso e manutenção da qualidade ambiental das bacias hidrográficas, considerados sistemas complexos, contínuos e frágeis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. de; SANTOS, M.; SCARLATO, F. C.; ARROYO, M. (Orgs). **O Novo Mapa do Mundo-natureza e sociedade de hoje: uma leitura geográfica**. São Paulo: HUCITEC, 1997.

_____. Modelagem de Sistemas Ambientais. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

ALMEIDA, N. O. de. **Metodologia em Geomorfologia Ambiental**. Geosul, Vol. 1, nº. 3, pg. 59 – 68. Amio, 1996.

ANDREWS, R. L. N. **Environmental Impact Assessment and Risk Assessment: Learning From Each Other**. In WATHERN, P. (org) Environmental Impact Assessment: Theory and Praticce. London: Unwin Hyman, 1988. P. 85-97

BEAUD, M. **Arte da Tese**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002.

BENNET, C. F. **Man and Earth's Ecosystems**. Nova Iorque, Wiley, 1975.

BERTALANFY, L.v. **Teoria Geral dos Sistemas**. Brasília: Vozes, 1975.

BERTRAND, G. **Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico**. Caderno de Ciências da Terra. São Paulo: Instituto de Geografia da USP, n.13, 1972. 27 p.

BIGARELLA, J. J. et al. **A Serra do Mar e a Porção Oriental do Estado do Paraná**. Curitiba: SEPL, 1978.

_____. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. Florianópolis: UFSC, v.2, 1996.

_____ **Visão integrada da problemática da erosão.** Associação de Educação Ambiental e Associação Brasileira de Geologia e Engenharia. Curitiba, 1985.

BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS.** Oxford: Pergamon, 1994.

BORNSCHEIN, M. R.; REINERT, B. L.; OLMOS, F. **Alterações nos limites do Parque Nacional Saint-Hilaire/Lange (Paraná).** Parecer Técnico da BirdLife International, Brasil Programme. Curitiba, 2003.

BURROUGH, P. A.; MACMILLAN, P. A.; van DEURSEN, W. **Fuzzy classification methods for determining land suitability from soil profile observation and topography.** Journal of Soil Science. v.43, n.2, p. 193 – 210, 1992.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources.** (Oxford: Clarendon Press, 1987)

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems.** New York: Oxford University Press, 1998.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução a Ciência da Geoinformação.** São José dos Campos, SP: INPE, 2001.

CARPENTER, R. A. **Risk Assessment.** In VANCLAY, F.; BRONSTEIN, D. A. (orgs.) Environmental and Social Impact Assessment. Chichester: John Wiley & Sons, 1995. p. 193-219.

CASTRO, S. M. **Estratégias, Políticas e Práticas para Reduzir os Riscos de Perigos Naturais e a Vulnerabilidade.** Disaster Preparedness Management. San Jose. Costa Rica, 2001.

CHORLEY, R. J. **A Physical Geography: a System Approach.** Engle-wood Cliffs, N. J. Prentice-Hall, 1971.

CHORLEY, R. J. HAGGET, P. **Modelos físicos e de informação em Geografia**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos / EDUSP, 1975

CHRISTOFOLETTI, A. **Meio Ambiente e Urbanização no Mundo Tropical**. In. SOUZA, M.

_____ A. **As teorias geomorfológicas**. Notícias geomorfológicas, nº. 25, junho, Campinas, 1973.

_____ Antonio. **Geomorfologia**. 2a edição. Editora Edgard Blücher Ltda. Pg. 188, São Paulo, 1980.

CONWAY, G. R. **Análise participativa para o desenvolvimento agrícola sustentável. Agricultores na Pesquisa**, 4, Rio de Janeiro, ASPTA, 1993. 32 p.

COSTA, L. de S. **Desenvolvimento de uma Metodologia para auxílio em Zoneamento de Unidades de Conservação. Aplicação ao Parque Florestal do Rio Vermelho**. Dissertação (Mestrado) – Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2003.

CUNHA, S. B. da; GUERRA, A.J.T. **Degradação Ambiental**. In _____. Geomorfologia e Meio Ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

DE BIASI, M. A. **Carta Clinográfica: os Métodos de Representação e sua Confecção**. Revista do Departamento de Geografia. São Paulo, n.6, 1992.

DECANINI, M. M. S. **SIG no Planejamento de Trilhas no Parque Estadual de Campos do Jordão**. Revista Brasileira de Cartografia, São Paulo, n.53, p.97-110, 2001.

DONHA, A. G. **Avaliação de Uso de Técnicas de Suporte à Decisão na Determinação da Fragilidade em Ambiente de Geoprocessamento: O Caso do Centro de Estações Experimentais do Cangüiri** – Universidade Federal do

Paraná. 120f. Dissertação (Mestrado) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2003.

DONHA, A. G.; SOUZA, L. C. de P.; SUGAMOSTO, M. L. **Determinação da Fragilidade Ambiental utilizando Técnicas de Suporte à Decisão**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, DEAg/UFCG, v.10, n.1, p.175-181, 2006.

DREW, DAVID. **Processos Interativos Homem-Ambiente**; Tradução de João Alves dos Santos. São Paulo: DIFEL, 1986.

EASTMAN, J. R. Idrisi for Windows: **Introdução e Exercícios Tutoriais - Versão 2**. Tradução: Heinrich Hasenack e Eliseu Weber. Porto Alegre: UFRGS - Centro de Recursos Idrisi, 1998.

_____ Decision support: decision strategy analysis. *In*: CLARK UNIVERSITY (Ed.). **Idrisi 32 release 2: Guide to GIS and image processing**. Worcester: Clark Labs, v.2, 2001.

EMBRAPA. **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná**. Curitiba, 1984.

_____. <http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/2005/artigo.AvaliacaoRiscosAgronegocio/>. Acessado 02/04/2010.

FANG, J. H. Fuzzy logic and geology. *Geotimes - News and Trends in Geoscience*, v. 42, 1997.

FARAH, F. **Habitação e Encostas**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2003. 312 p.

FARENZA, D. **Transformações Ambientais no Processo de Reorganização Espacial no Município de Faxinal do Soturno/RS**. 145 f. Dissertação (Mestrado) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

FARIA, A. L. L.; XAVIER-DA-SILVA, J.; GOES, M. H. B. **Análise Ambiental por Geoprocessamento em áreas com susceptibilidade à erosão do solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Espírito Santo**, Juiz de Fora (MG). *Caminhos de Geografia – Revista on line*, v.4 (9) p.50-65, 2003.

FERRARI, R. **Viagem ao SIG: planejamento estratégico, viabilização, implantação e gerenciamento de sistemas de informação geográfica**, ed. Sagres, 1997, 174p.

FERREIRA, J. C. *et al.* Ensaio de Delimitação de Corredores Verdes na Área Metropolitana de Lisboa: Integração de dados fuzzy através da análise multi-critério. *In: ENCONTRO DE UTILIZADORES DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA*, VIII, 2004. Oeiras. **Anais...** Oeiras - Portugal, 2004.

FRANCO, M. A. R. **Planejamento Ambiental para a Cidade Sustentável**. São Paulo: Annablume: FAPESP, 2001.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. **Mapeamento da Floresta Atlântica do Estado do Paraná. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. Programa Pró-Atlântica, Curitiba, 2002.

_____. **Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental de Guaratuba. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. Instituto Ambiental do Paraná, Curitiba, 2003.

GARCIA, F. E. G. **Percepção ambiental: a experiência brasileira**. O City Marketing de Curitiba. Ed. Nobel, 1999.

GREGORY, K.J. **A natureza da geografia física**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992

IBAMA. **Roteiro Metodológico de Planejamento para Parques Nacionais, Reservas Biológicas e Estações Ecológicas**. Brasília: Edições IBAMA, 2002.

_____. **Informações sobre o Parque Nacional Saint-Hilaire/Lange.**
Disponível em: <http://www.ibama.org.com> Acesso em: 18 abril 2006.

_____. **Serviço Geológico nos Municípios-Parque Nacional Saint-Hilaire/Lange,** Curitiba, 2005

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira.** Rio de Janeiro, 1992.

IPARDES. **Diagnóstico Físico Ambiental da Serra do Mar – Área Sul.** Curitiba, 1991.

IBRAHIM, A. M. **Fuzzy logic for embedded systems applications.** Elsevier Science (USA), 2003.

JOHNSON. D L. et al **Meanings of Environmental terms.** Journal of environment qualit. nº 26, pag. 581-589, 1997.

KATES, R. W. **Risk Assessment of Environmental Hazard.** John Wiley & Sons, 1995. p. 193-219

Kennedy, W. V. **the West German Experience** . In: O'riorden, T.Sewell, W.R.D.(orgs). Project appraisal and policy review. Chichester: John Wiley et Sons, 1981.p.155-185

KLEIN, R. M.; HATSCHBACH, Gerth. **Fitofisionomia e notas sobre a vegetação para acompanhar a planta fitogeográfica do município de Curitiba e arredores (Paraná).** Boletim da Universidade do Paraná. Nº. 4, pg. 1 – 27, dezembro, Curitiba, 1962.

LEPSCH, I. F. et al. **Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso.** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983.

LOPES, O. LIMA, R.E. **Nota Preliminar sobre a Geologia da Serra da Prata – PR**. Boletim Paranaense de Geociências, n.36. Curitiba, 1985.

MAACK, R. **A Serra do Mar no Estado do Paraná**. IBGE. Boletim de Geografia. n. 31. Rio de Janeiro: FIBGE, 1972. p.79-105.

_____. **Geografia física do Estado do Paraná**. 2a edição. Livraria José Olímpio, Rio de Janeiro, 1981.

MAGANHOTO, R. F. **Fragilidade, Impactos e Prevenções das Trilhas em Áreas Naturais: estudo de caso Reserva Ecológica Itaytyba – RPPN**. 125 f. Dissertação (Mestrado) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

MALCZEWSKI, J. **GIS and multicriteria decision analysis**. New York: John Wiley, 1999. 362p.

MANTOVANI, L.E.; FRITZONS, E. **Ambiente Climático da Floresta Ombrófila Mista**. In: IV Internacional Symposium on Forest Ecosystems – Forest 96. Belo Horizonte, 1996.

MEIRELLES, M. S. P. **Análise integrada do ambiente através de Geoprocessamento – uma proposta metodológica para elaboração de zoneamentos**. 1997. Tese (Doutorado) Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MELLO, F. A. O. **Análise do processo de formação da paisagem urbana no município de Viçosa, Minas Gerais**. 203. 122 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG, 2002.

MOLAK, V. **Fundamentals of risk analysis and risk management**. Lewis Publishers, CRC Press, Inc. 1997.

MONTEIRO, C. A. de F. **A Questão Ambiental no Brasil: 1960-1980**. São Paulo: Instituto de Geografia, 1981.

MOREIRA, F. R. S. **Uso e Avaliação de Técnicas de Integração e Análise Espacial de Dados em Pesquisa Mineral Aplicadas ao Planalto de Poços de Caldas**. 2001. Dissertação (Mestrado) Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

MOREIRA, I. V. D. **Origem e Sínteses dos Principais Métodos de Avaliação de Impacto Ambiental**. In: Manual de Avaliação de Impacto Ambiental. Curitiba: SUREHMA/GTZ, 1992

MORAES, A. C. R.; COSTA, W. M. **O ponto de partida: o método. Geografia Crítica. A valorização do espaço**. São Paulo: HUCITEC, 1984

MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na Gestão e Planejamento Urbano**. Belo Horizonte: Ed. da Autora, 2003. 294p.

MÜLLER, C. A. **Gestão Ambiental do Turismo**. Curitiba, 2002. Aula proferida no Centro de Desenvolvimento Empresarial e Tecnológico – CEDEMPT.

PALMIERI, F.; LARACH, J. O. I. **Pedologia e Geomorfologia**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. (Orgs). Geomorfologia e Meio Ambiente. 3 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000. 372 p.

PETROBRAS. **Projeto Interdisciplinar de Pesquisa sobre a Eutrofização de Águas na Bacia do Rio Verde**, Curitiba. 2008

PHILIPPI Jr. A.; ROMÉRO M. A.; BRUNA G. C., Ed. **Curso de Gestão Ambiental**. Barueri, SP: Manole, 2004, p. 1045

PIRES, José S. R.; SANTOS, José E. dos. **Bacias hidrográficas: integração entre meio ambiente e desenvolvimento**. Ciência Hoje. V. 19, nº. 110. Pg. 40 – 45. Rio de Janeiro, 1995.

REBELO F. **Geografia Física e Riscos Naturais**. Imprensa da Universidade de Coimbra. Coimbra, Portugal. 2010, 215 p.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora, MG: Ed. Do Autor, 2000. 220p.

RODRIGUES, A. M. **Produção e Consumo do e no Espaço: problemática Ambiental Urbana**. São Paulo: Hucitec, 1998.

RODRIGUES, C. **A Teoria Geossistêmica e sua Contribuição aos Estudos Geográficos e Ambientais**. Revista do Departamento de Geografia – USP, São Paulo, n.14, p. 69-77, 2001.

RODRIGUES, G.S. **Impactos ambientais da agricultura**. In: Hammes, V.S. (Ed.Técnica). Julgar – Percepção do Impacto Ambiental. São Paulo: Editora Globo, v. 4, 2004

RODRIGUES, M. **Introdução ao geoprocessamento**. Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento. EPUSP, São Paulo, 1990.

ROSA, R. **Sistema de Informação Geográfica**. 49f. Apostila do Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, 2004. Disponível em <<http://www.ig.ufu.br/lgeop/Apostilas/Sig.pdf>> Acesso em: 26 fevereiro 2007.

ROSA, M. R.; ROSS, J. L. S. **Aplicação de SIG na Geração de Cartas de Fragilidade**. Revista do Departamento de Geografia. São Paulo, n. 13, p. 77-105, 1999.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia aplicada aos EIAs – RIMAs**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. Geomorfologia e Meio Ambiente. 3 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000. 372p.

RUSCHMANN, Doris van de M. **Turismo e Planejamento Sustentável**. Campinas: Papirus, 1997.

SACHS, I. **Estratégias de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente**. São Paulo: Nobel, 1993.

SALAMUNI, R. - **Fundamentos geológicos do Paraná**. In: **História do Paraná**. Ed. Grafipar. Curitiba, 1961. v.II, p. 13-128

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de Impactos Ambientais – Conceitos e Métodos**. São Paulo: Oficina dos Textos, 2008.

SANTOS L.J.C., OKA-FIORI C., CANALI N.E., FIORI A.P., SILVEIRA C.T., SILVA J.M.F., ROSS J.L.S. 2006. **Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná**. Revista Brasileira de Geomorfologia, 07-03-11.

SANTOS, M. **Por uma geografia nova**. São Paulo: Hucitec-Edusp, 1978

_____. **O Período Técnico-Científico e os estudos geográficos: problemas da urbanização brasileira**. Projeto de pesquisa apresentado ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), mar. 1989

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SCHMIDLIN, D. **Utilização de Técnicas de sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas para Atualização e Geração do Mapa Compilado de Solos da Área de Proteção Ambiental – APA de Guaratuba (PR)**. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Solos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 1998.

SERRANO, C. M. de T. **A vida e os parques: proteção ambiental, turismo e conflitos de legitimidade em Unidades de Conservação**. In: SERRANO, C. M. de T.; BRUHNS, H. T.(Orgs). **Viagens à Natureza: turismo, cultura e ambiente**. Campinas: Papirus, 1997.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. <http://www.cprm.gov.br/> Acessado em 02/08/2010.

SIEDLECK, K. N.; PORTES, M. C. de O.; CIELO FILHO, R. **Proposta de Adequação dos Limites do Parque Nacional Saint-Hilaire/Lange** (Serra da Prata) – Estado do Paraná. Artigo apresentado no 2º Simpósio de Áreas Protegidas – Conservação no Âmbito do Cone Sul, Curitiba, 2003a.

SILVA C. L. (org.) **Desenvolvimento Sustentável: um modelo analítico integrado e adaptativo**. Petrópolis, RJ, Vozes, 2006.

_____. **Subsídios Técnicos para Fixação dos Limites Definitivos do Parque nacional Saint Hilaire/Lange**. Curitiba: IBAMA, 2003b.

SILVA, C. A. da. Parques Nacionais: elementos para um Turismo Desejável. Cadernos Temáticos. Brasília: Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica, n.7, dez. 2005.

SILVEIRA, C. T. da; FIORI, A. P.; OKA-FIORI, C. **Mapeamento das Cartas de Vulnerabilidade da Bacia do Rio Cubatãozinho/PR**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 10. Anais... Rio de Janeiro: UERJ, 2003. p. 831-840.

SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica**. Disponível em: <<http://www.sosmatatlantica.org.br>> Acesso em: 18 janeiro 2007.

SOTCHAVA, V. B. O Estudo de Geossistemas. **Caderno Biogeografia e Métodos em Questão**. São Paulo: Instituto de Geografia da USP. n.16, 1977. 51 p.

SOUZA, L. C de P.; SIRTOLI, A. E.; LIMA, M. R.; DONHA, A. G. **Estudo do Meio Físico na Avaliação de Bacias Hidrográficas Utilizadas como Mananciais de Abastecimento**. In: ANDREOLI, C. V. ; CARNEIRO, C. Gestão Integrada de Mananciais de Abastecimento Eutrofizados. Curitiba: SANEPAR – FINEP, 2005. 500 p. p. 123 – 158.

_____ L. C. de P. **Descrição da classificação do solo da área do Parque Nacional Saint-Hilaire/Lange**. Setor de Ciências Agrárias - Departamento de Solos, UFPR, Curitiba, 22 jan. 2007. Comunicação verbal.

SOUZA, M. P. **Metodologia de cobrança sobre os usos da água e sua aplicação como instrumento de gestão**. Pg. 175. São Paulo, 1993. (doutorado) – Faculdade de Saúde Pública de São Paulo. Universidade de São Paulo.

SPÓSITO, E. S. **A vida nas cidades**. São Paulo: Contexto, 1994.

STRAHLER, A. N. (1952). **Dynamic basis of geomorphology**. Geological Society of America Bulletin, 63, 923 - 938

TEIXEIRA, A. L. A.; MORETTI, E.; CHRISTOFOLETTI, A. **Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica**. Edição do Autor, Rio Claro, 1992.

THEODOROVICZ, A. Atlas geoambiental da RMC – **Subsídios Para o Planejamento Territorial**. CPRM, 1999

THEYS, J. **L' Environnement à La recherche d'une définition**. Institut Français de l' Environnement, Note de Methode n. 1, 1993.

TOMMASI, L. R. **Estudo de Impacto Ambiental**. São Paulo: CETESB. 1993.

TOREZAN, F. E. Proposta metodológica para subsidiar a determinação do grau de impacto ambiental em empreendimentos minerários na região de Descalvado e Analândia. 2005. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, UFSCar – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro, IBGE/SUPREN, 1977. 91.p.

TRICART, J.; KILLIAN, J. **L'écogeographie et L'aménagement du milieu naturel**. Paris: François Maspero, 1979. 326 p.

TROPPEMAIR, H. **Sistemas, Geossistemas, Geossistemas Paulistas e Ecologia da Paisagem**. Rio Claro: edição do autor, 2004, 130p.

_____. **Metodologia Simples para Pesquisar o Meio Ambiente**. Rio Claro: UNESP, 1994, 232 p.

UFPR, **Normas para apresentação de trabalhos científicos**. Curitiba: Ed. UFPR, 120 p. 2007.

URBAN, T. **Do Fogo de Prometeu ao Temor do CO2: A longa História da Exploração da Natureza pela Humanidade**. In: Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação. Anais... Curitiba, 1997.

VASCONCELLOS, J. M. **Bases gerais sobre Educação Ambiental e Interpretação da Natureza**. In: Apostila do curso "Manejo de Áreas Protegidas". Curitiba, FBPN, Universidade Livre do Meio Ambiente, 119p., 1997.

VEIGA, T.C.; XAVIER-DA-SILVA, J. **Geoprocessamento como Ferramenta para Tomada de Decisão a nível Municipal: Identificação de Áreas com Potencial para Atividades Turísticas em Macaé – RJ**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 21., 2003, Rio de Janeiro. Anais... Belo Horizonte, 2003.

VOOGD, H. **Multicriteria evaluation for urban and regional planning**. London: Pion, 1983.

XAVIER-DA-SILVA, J. **O espaço organizado: sua percepção por geoprocessamento**. Revista Universidade Rural, Série Ciências Exatas e da Terra, Rio de Janeiro, v.21 (1). p.63 -67, 2002.

XAVIER DA SILVA, J; Z Aidam, R. T. **Geoprocessamento e análise ambiental aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 2004

XAVIER-DA-SILVA, J.; CARVALHO FILHO, L. M. de. **Sistema de Informação Geográfica: uma Proposta Metodológica**. In: TAUk-TORNISIELO, S. M. et al. *Análise Ambiental: estratégias e ações*. São Paulo: Queiroz Editor, 1995.

WEBER, E. J.; HASENACK, H. **O Geoprocessamento como Ferramenta de Avaliação**. In: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIAS DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS, 1997, São Paulo/SP. Anais... São Paulo/SP, 1997.

_____. **O Uso do SIG no Ensino de Ciências Ambientais**. In: V CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO DA AMÉRICA LATINA, 1999, Salvador/BA. Anais...Salvador/BA, 1999.

WESTMAN, W. E. **Measuring the inertia and Resilience of Ecosystems**. *BioScience*, v. 28, n. 11, p 705-710, 1978.

ZAMBON, K. L.; CARNEIRO, A. F. M.; SILVA, A. N. R. & NEGRI, J. C. **Análise de decisão multicritério na localização de usinas termelétricas utilizando SIG**. *Pesquisa Operacional*, Rio de Janeiro, v.25, n.2, p.183-199, 2005.