

O Modelo PEIR e Base SIG no Diagnóstico da Qualidade Ambiental em Sub-bacia Hidrográfica Urbana

Cezar Augusto Bastianello Vaz*, Geraldo Lopes da Silveira*

cezarabv@hotmail.com; geraldlo.ufsm@gmail.com

Recebido: 19/08/13 - revisado: 07/11/13 - aceito: 25/03/14

RESUMO

Este artigo versa sobre um estudo de diagnóstico ambiental em pequena bacia urbana. A fundamentação teórica é baseada na técnica de Pressão-Estado-Impacto-Resposta (PEIR) para obtenção de índices de qualidade por meio de planos de informações físicas, ambientais e sócio-econômicas da sub-bacia do Arroio Cadena localizada na cidade de Santa Maria, região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. O diagnóstico da situação atual foi realizado com base em 10 planos de informação, através de ferramentas de geoprocessamento a partir de dados básicos de feições descritivas da região estudada, entre elas, redes de esgoto, água, viária e vulnerabilidade geológica. A qualificação e quantificação dos indicadores basearam-se na condição que as atividades humanas produzem Pressões sobre meio ambiente que podem afetar seu Estado, o qual, por sua vez, acarreta Impactos à sociedade e aos ecossistemas. Isto leva o poder público, as organizações e a população em geral a tomar medidas de Respostas sobre o sistema, procurando assim a estabilidade do mesmo. Os indicadores (PEIR) foram valorados por meio de planos de informação associados a cada um deles. Os resultados formatam 4 cartas ambientais para cada um dos indicadores da bacia urbana, que é composta por 9 regiões, referentes a micro-bacias. Esse produto torna possível avaliar o potencial crescente ou decrescente da qualidade ambiental, discriminados entre si, e, para cada uma destas 9 regiões, as causas da valorização ambiental em termos absolutos. Os resultados obtidos podem ajudar os tomadores de decisão a entender as conseqüências de suas decisões sobre o meio ambiente, com ênfase nas águas urbanas, bem como pode ajudar a organizar e priorizar os processos de tomada de decisão de forma mais adequada e democrática.

Palavras chave: *qualidade ambiental, urbanização, análise espacial.*

INTRODUÇÃO

A Qualidade Ambiental é o conjunto de propriedades e características do ambiente que afeta tanto o ser humano como outros organismos. A percepção ambiental pode ser definida como uma tomada de consciência do ambiente pelo homem, ou seja, o ato de perceber o ambiente em que se está inserido. Cada indivíduo percebe, reage e responde diferentemente às ações sobre o meio em que vive, sendo estas manifestações resultado da subjetividade de cada pessoa (FAGGIONATO, 2010). O estudo da Qualidade Ambiental foi inicialmente apresentado no Relatório de Situação Ambiental – SOE (State of the Environment). Sua introdução, nos Estados Unidos, ocorreu por meio da promulgação do Ato Nacional de Política Ambiental de 1969 – NEPA (National Environmental Policy Act) e tornou-se

uma atividade de caráter mundial a partir da declaração adotada na Conferência sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo em 1972. O ambiente biofísico – terra, água doce, florestas e vida silvestre foi inicialmente o centro das atenções pelos participantes do evento. Com isso, o SOE passou a integrar esforços para avaliar e relatar as mudanças que ocorrem no meio ambiente entre os países colaboradores em escala local, regional, nacional e global. A Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento OCED (1998) formulou o primeiro modelo que utiliza o conceito de pressão-estado-resposta (PER), e posteriormente, ampliou-se o conceito para força motriz-pressão-estado-impacto-resposta (FPEIR). Atualmente, em seu relatório intitulado “*Green Growth in Cities*”, (2013) a OCED sedimentou o uso dos indicadores PEIR que são considerados ponto de partida para a análise dos impactos sobre o meio ambiente e a redução ou mitigação dos mesmos. Os impactos às atividades ou respostas por meio de políticas e decisões deram a forma ao meio ambiente ao longo das últimas três décadas no globo. No presente trabalho

*Programa de Pós Graduação em Eng. Civil - UFSM

procurou-se investigar as interrelações fundamentais entre as variáveis de um sistema ambiental, por meio da criação de informações sobre uma sub-bacia hidrográfica urbana. O objetivo deste artigo é demonstrar a aplicabilidade do método PEIR a uma bacia urbana, auxiliando a tomada de decisão e sinalizando as prioridades de ação ao gestor público. Nesse contexto, ao definir o foco para uma bacia, as escalas de variação das variáveis envolvidas adotarão máximos e mínimos locais, que permitirão as comparações entre regiões/sub-bacias da bacia de estudo. Ao fazer essa escolha, toda a análise aqui desenvolvida para a qualidade ambiental só vale para a bacia analisada, sem possibilidade de comparação com outras bacias que, porventura tenham sido trabalhadas paralelamente, mas sem uma análise integrada. Porém, o método é bastante adaptável à área de menor ou maior extensão de território, conforme objetivo estabelecido pelo modelador. Se o objetivo fosse um planejamento ambiental em nível de Estado, com a decisão de investimentos pendendo entre bacias diferentes, o máximo e o mínimo de referências para os extremos das escalas construídas deveriam ser fixados para este universo maior, condizente com o conjunto de bacias consideradas. O diferencial do estudo, e proposta de estado da arte, foi de agregar ao estudo agentes de pressão, estado e resposta com características diferenciadas, como é o caso das informações da malha viária relaciona à impermeabilização da sub-bacia e uso do solo relacionado à destinação e intervenção humana a que sub-bacia está exposta. O modelo é altamente adaptável em termos da agregação de fatores para potencializar o estudo sobre os impactos sobre as bacias urbanas e favorece a escala das variáveis a serem adotadas no modelo em termos de geoprocessamento.

METODOLOGIA

O método PEIR

A matriz PEIR é mundialmente utilizada pelo PNUMA na elaboração das séries GEO (Global Environment Outlook). A matriz PEIR busca estabelecer um vínculo entre seus diversos componentes, de forma a orientar a avaliação do estado do meio ambiente. As variáveis do método estão organizadas em três níveis:

1. Indicadores (PEIR),
2. Planos de Informação (PI) e
3. Dados Descritores ou Básicos (D).

Os dados analisados (D) foram organizados em dez PIs, que foram cruzados para produzir os indicadores PEIR por meio de análise espacial e álgebra de mapas. As divisões dos indicadores estão apresentadas na Tabela 1, sendo usual se dispor destes dados básicos em áreas urbanas municipais.

Os indicadores de pressão se referem aos fenômenos que causam os problemas urbano-ambientais. Nesta metodologia, os indicadores de pressão representam as atividades humanas como os transportes e o uso dos recursos naturais como os padrões de consumo, a geração de resíduos e a poluição.

Os indicadores de estado são a resposta às pressões. A frequência ou a magnitude dos riscos naturais, a disponibilidade e qualidade dos recursos como a fertilidade do solo e a biodiversidade e os níveis da poluição ambiental são os indícios da mudança do estado do ambiente.

Os indicadores de impacto são as alterações ambientais sobre as condições de vida e saúde da população e um dos temas mais discutidos na atualidade, seja no âmbito científico, político bem como na sociedade civil.

Os indicadores de resposta mostram a extensão e a intensidade das reações da sociedade em responder às mudanças e às preocupações ambientais; referem-se à atividade individual e coletiva para mitigar, adaptar ou prevenir os impactos negativos induzidos pelas atividades humanas.

O método PEIR agrega um conjunto de dados ou descritores (D), classificados de acordo com sua essencialidade e de uma análise escalonada com base em sua especialidade. Na sequência, os dados são normalizados (Nd) e igualados em escala para descrever o indicador do método PEIR.

Os dados descritores espacialmente são representados por pixels de uma imagem ou de um conjunto de pixels que definem uma feição de estudo. A equação 1 representa o cálculo dos valores normalizados para cada descritor D. A avaliação dos especialistas é transformada em escores de 0 a 1 que são multiplicados a cada pixel das feições do sistema delineando os planos de informação em escala de cores que definem a qualidade ambiental da sub-bacia.

O dado descritor fica representado entre os valores 0 e 1. Este intervalo representa o pior e o melhor ponto de vista da qualidade ambiental das medidas absolutas pixel a pixel dos mapas que serão computadas na etapa seguinte.

$$Nd = \frac{(D_m - D_{\min})}{(D_{\max} - D_{\min})} \quad (1)$$

Sendo, N_d a normalização do dado descritor; D_m o valor do descritor de medida; $D_{mín}$ o valor mínimo do descritor; $D_{máx}$ o valor máximo do descritor.

Os Planos de Informação são obtidos para diferentes dados descritores submetidos aos pesos definidos pela concepção dos especialistas, por meio de álgebra de mapas, aplicando-se a equação 2:

$$I_n = \frac{\sum_{i=1}^n N_d W_i}{n} \quad (2)$$

Sendo, I_n o índice referente à informação estudada; N_d a norma de valor de descritores individuais D sendo os mais cotados para o estudo devido às características da sub-bacia o Uso do Solo, População, Sistemas Viários, Cobertura do solo, Geologia, Pedologia, Áreas de Risco, Áreas de Preservação, Redes de Saneamento e Legislação, W_i o peso do descritor baseado em análise de especialistas referentes às feições avaliadas e n o número de descritores D .

Na fase de normalização alguns descritores podem apresentar uma relação inversa (no caso relação prejudicial à qualidade ambiental). Assim, a correção dos valores dá-se mediante a seguinte forma:

$$N_{d_{inv}} = 1 - N_d \quad (3)$$

Sendo, $N_{d_{inv}}$, o valor de N_d com sentido invertido de variação.

A Densidade de Kernel para espacialização das contribuições de redes

Este método visa mostrar a influencia de dados descritores ou básicos (D) que tem uma distribuição predominantemente vetorial no espaço de valoração ambiental. Este é o caso das redes de água, esgoto e viária (representadas por linhas), e necessitam de uma análise de proximidade baseado em suas capacidades para definir as áreas de influência. A densidade de Kernel pode ser definida como um método não paramétrico, que relaciona duas variáveis, no caso a posição de cada braço de rede e a potencial interferência estimada em sua proximidade. A função de densidade de Kernel pode ser representada por:

$$K_\alpha(x) = \frac{1}{\alpha} K\left(\frac{x}{\alpha}\right) \quad (4)$$

Onde α é o parâmetro que regula o grau de suavidade de uma densidade de Kernel, denomina-se parâmetro de janela. Este estimador representa a média das funções Kernel das observações X_i . O estimador de uma função de densidade de Kernel é dado por:

$$f_\alpha(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_\alpha(x - X_i) = \frac{1}{n\alpha} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - X_i}{\alpha}\right) \quad (5)$$

Como Kernel é uma função de densidade, então seu estimador também o é, sendo assim, conforme a Equação 6:

$$\int K(x)dx = \int f_x(x)dx = 1 \quad (6)$$

O parâmetro de janela para as redes de água, esgoto e viária levou em conta um raio de 300 metros das redes. O potencial de avaliação da qualidade ambiental está relacionado ao diâmetro da rede. Quanto maior o parâmetro diâmetro da rede de água e esgoto menor a extração de água dos rios ou poços e menor o lançamento de esgoto nos mananciais. Porém quanto mais próximo das vias de maior capacidade maior a poluição.

A área de estudo

O estudo baseado na unidade de bacia hidrográfica urbana potencializa a capacidade de diagnosticar a qualidade ambiental a partir do modelo do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (RAIOL, 2010), o modelo PEIR. Os indicadores considerados no caso de estudo da sub-bacia do Arroio Cadena, localizada na cidade de Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul (Brasil). A área de estudo está localizada entre as coordenadas geográficas 29° 39' 0" e 29° 45' 20" latitude sul, 53° 46' 58" e 53° 51' 45" de longitude oeste (Figura 1).

A sub-bacia possui uma área de 64,08 km² e está localizada em porção urbanizada central. A população na área da sub-bacia é de aproximadamente 200 mil habitantes.

A sub-bacia apresenta características fisiográficas que englobam porções do Rebordo do Planalto Sul Riograndense e Depressões Periféricas bastante distintas. Na figura 1, em vermelho, mostra-se a ocupação urbana na maior parte da sub-bacia.

O produto de imagem radar utilizado neste trabalho foi do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) disponibilizada via internet pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) e



Figura 1 - Localização da área urbana da sub-bacia do Arroio Cadena e localização, Filho (1990).

pela imagem do sensor remoto QUICKBIRD extraída da foto do município de Santa Maria.

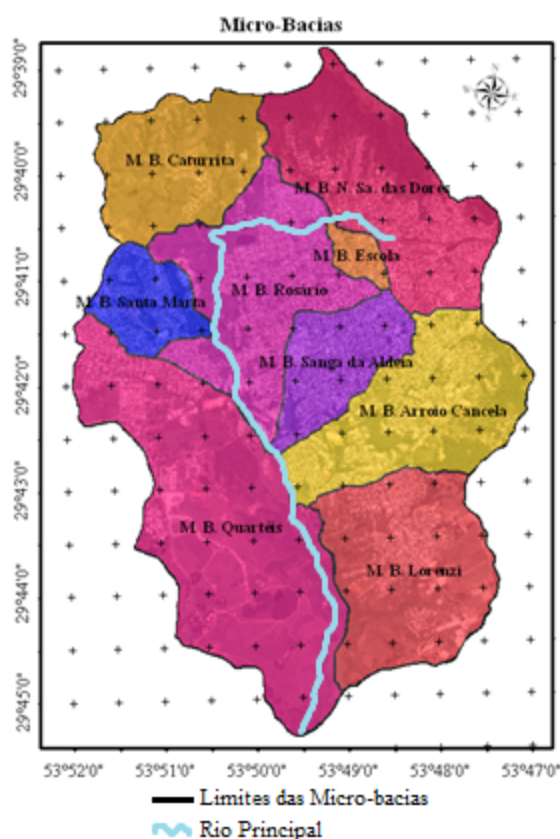


Figura 2 - Áreas das Micro-Bacias

O fuso de referência é o 22S. A data da cena é de dezembro de 2009. A sub-bacia foi dividida a partir de análise cartográfica com o modelo de Strahler (1964) resultando em nove micro-bacias que tem foz sobre o rio principal: Sanga da Aldeia (SA), 3,80 km² de área; Arroio Cancela (AC), 8,14 km² de área; Caturrita (CA), 5,98 km² de área; Escola urbana (EU), 0,75 km² de área; Lorenzi (LO), 8,73 km² de área; N.Sa. das Dores (ND), 9,17 km² de área; Quartéis (QU), 16,04 km² de área; Rosário (RO), 8,76 km² de área e Santa Marta (SM), 2,67 km² de área.

A Figura 2 representa esta divisão.

A variedade de características dentre as micro-bacias serviu de base ao estudo para averiguar as singularidades da qualidade ambiental do ambiente urbano.

A análise conjunta destas composições pode demonstrar a real condição da qualidade ambiental de um meio ambiente complexo como é o de uma bacia urbana.

Para tanto estas variáveis foram avaliadas pixel a pixel por meio dos planos de informação identificados na tabela 1 e construídos com os dados básicos disponíveis para a análise.

Dados de análise

Os indicadores ambientais (IA) da área de estudo foram classificados pela Matriz PEIR (Presença, Estado, Impacto e Resposta), conforme a Tabela 1, primeiramente foram utilizados os dados descritores (D) da região estudada. Na sequência os descritores foram separados em classes de planos de

informação (PI) de acordo com os indicadores ambientais do modelo PEIR.

Tabela 1 – Variáveis do Modelo PEIR

PEIR	(PI)	(D)
P	1 - Uso do Solo	Tipo de uso do solo
	2 - População	Densidade demográfica
	3 - Sistemas Viários	Densidade Viária
E	4 - Cobertura do solo	Espacialidade da cobertura do solo
	5- Geologia	Permeabilidade Resistência à Erosão Vulnerabilidade à Poluição
	6 - Pedologia	Vulnerabilidade Estabilidade
I	7 - Áreas de Risco	Declividade
	8 - Áreas de Preservação	Preservação Permanente Especiais Naturais
R	9 - Redes de Saneamento	Densidade rede de água Densidade rede de esgoto
	10 - Legislação	Zonas de expansão urbana

P (Pressão), E (Estado), I (Impacto), R (Resposta)

Formação e normalização dos Planos de Informação

A partir dos dados descritores básicos foram construídos os planos de informações por meio de mapas com as informações disponíveis para os diferentes indicadores PEIR.

Uso do Solo

USSE (2013) conceitua o solo como:

“O solo é a pele viva do planeta e fornece serviços essenciais para a vida no nosso planeta: produção de alimentos; limpeza e a infiltração da água, proteção contra inundações, habitat para plantas, áreas para lazer e saúde mental, micro regulação do clima, no entanto, particularmente em áreas urbanas, o solo está sendo vedada com alojamento e infra-estrutura crescente.”

As categorias de uso são estabelecidas pela Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), com os agrupamentos Residenciais, Co-

merciais, de Serviços e Indústrias. O código de edificações da região da sub-bacia foi instituído pela Lei complementar n° 034 de 29 de dezembro de 2005 e dispõe sobre o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental do Município de Santa Maria revisado (PDDUA), 2013. O plano institui o índice mediador para o uso do solo chamado Coeficiente de Aproveitamento (CA). Trata-se de um número resultado da área computável sobre a área do terreno, indica a quantidade máxima de metros quadrados que podem ser construídos, variando para cada setor. A Figura 3 mostra a divisão em áreas dos setores por siglas que correspondem aos conjuntos de setores Norte (NO), sudoeste (SO), sudeste (SE) e nordeste (NE). À direita os valores normalizados do coeficiente de aproveitamento no intervalo de 0 a 1.

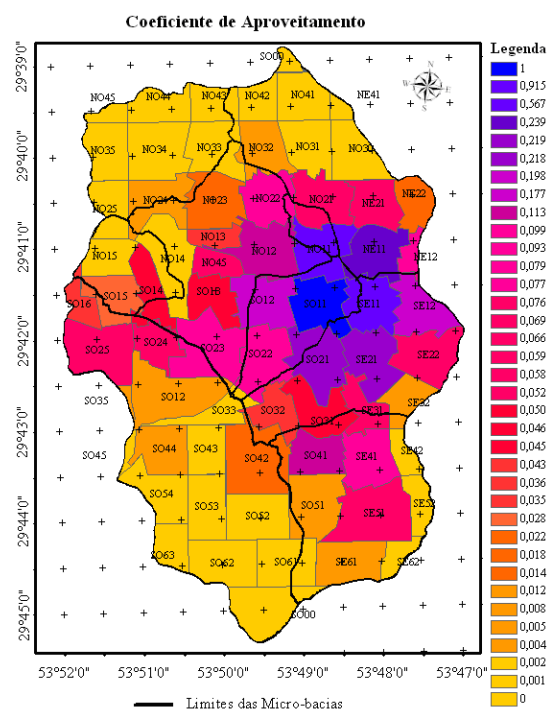


Figura 3 - Uso do Solo – Áreas dos setores

População

A qualidade de vida de uma população está intrinsecamente relacionada à qualidade ambiental de uma região. Quando uma área apresenta densidade demográfica acentuada, a qualidade de vida da população torna-se prejudicada devido ao adensamento populacional. A tabela 2 apresenta a densidade por km² para cada micro-bacia e os valores normalizados pelo método em cada micro-bacia. Quanto menor o índice de população por área me-

lhora será a distribuição do contingente populacional e mais adequada será a qualidade ambiental.

Tabela 2 - Densidade populacional em Habitantes por km²

Micro-bacia	hab/ km ²	N
Sanga da Aldeia	8765	0,31
Arroio Cancela	2584	0,85
Caturrita	2019	0,89
Escola Urbana	12389	0,00
Lorenzi	795	1,00
N.Sa. .Dores	3298	0,78
Quartéis	1445	0,94
Rosário	1730	0,92
Santa Marta	3790	0,74

Densidade do Sistema Viário

No Brasil, a densidade do Sistema Viário é representada pelo o volume máximo de tráfego de veículos por dia. A tabela 3 mostra esta relação baseada no manual do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT) já normalizada de acordo com a capacidade de tráfego. O DNIT denomina como Vias Estruturais as rodovias Federais e Estaduais, com a função de absorver o trânsito urbano; Vias Arteriais as vias urbanas mais importantes, com boa fluidez na circulação e velocidade moderada; Vias Coletoras as vias urbanas de segunda grandeza, que recebem e distribuem o tráfego e Vias Locais as vias urbanas de distribuição do tráfego local, com baixa fluidez e alta acessibilidade.

Tabela 3 - Volume máximo/dia normalizados baseados no Manual do DNIT

Tipos de Vias	Volume máximo/dia	N
Vias Estruturais	20000	0,00
Vias Arteriais	14000	0,33
Vias Coletoras	6200	0,76
Vias Locais	1900	1,00

A qualidade ambiental e a qualidade de vida de uma região estão ligada ao volume de tráfego. Para a sub-bacia pode-se verificar que quanto maior o volume de tráfego, maior será a emissão de poluentes e menor será a contribuição em relação à qualidade ambiental.

A Figura 4 representa a sub-bacia do Arroio Cadena com a malha viária abrangida. Nota-se que esta sub-bacia possui um adensamento viário bastante representativo.

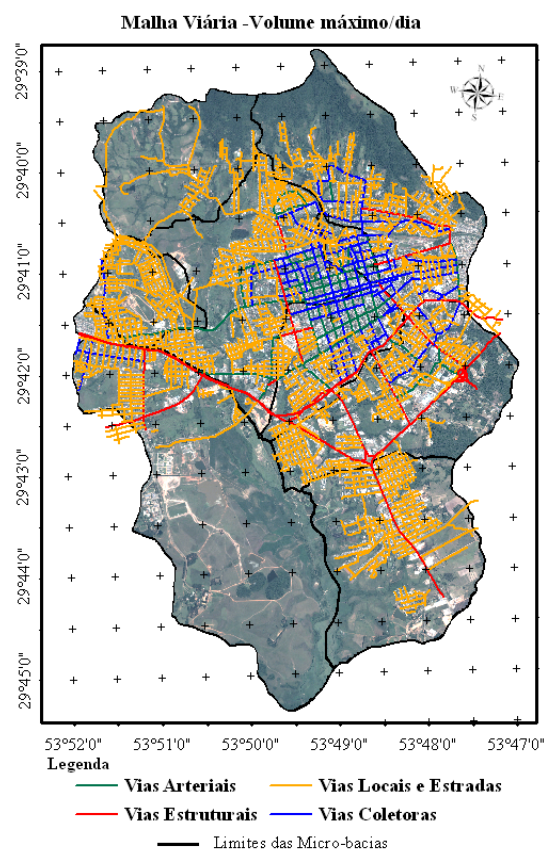


Figura 4 - Densidade do sistema viário

Cobertura do solo

Segundo Seto et al (2011), “O sistema convencional de agrupar e categorizar a terra usa uma única escala, com dois extremos a ser, o urbano e o deserto. Estas categorias são parceladas em unidades discretas, de tal forma que cada pedaço de terra é atribuída a uma única categoria. Por rotular cada unidade terrestre em uma única classe, obtemos as estimativas totais da terra, somando-se os valores regionais, agregando ou encobrindo relações geográficas.

Segundo Ross (2009) O grau de fragilidade dos ambientes naturais, principalmente, onde há intervenção humana, é considerado em maior ou menor em função das suas características genéticas. Esses elementos tratados de forma integrada possibi-

litam obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais.

Este modelo propõe que cada uma destas variáveis seja hierarquizada em classes de acordo com sua vulnerabilidade. Assim, as variáveis mais estáveis apresentarão valores mais próximos de 1,0, as intermediárias ao redor de 3,0 e as mais vulneráveis estarão próximas de 5,0. A tabela 4 apresenta esta relação. Esta feição é classificada com base na analogia de que os espaços preenchidos por vegetação frondosa filtram a poluição, partículas minúsculas de sujeira e fuligem além de que as folhas das árvores bloqueiam a luz solar, diminuindo a temperatura.

Foram utilizados os preceitos Hoover e Giarratani (1984), atualmente utilizados como padrão de cobertura do solo. Para a sub-bacia esta relação é demonstrada na figura 5 por meio de classificação orientada de imagens com base na intensidade dos pixels. As classes de estudo do solo foram divididas em Vegetação de grande e médio porte, Vegetação rasteira e pequeno porte, Solos descobertos e Mancha Urbana. Na figura o semitom em vermelho representa a mancha urbana, que representa o fator de menor valor na escala de qualidade ambiental seguido pelos solos descobertos, vegetação de rasteira e de médio e grande porte com os valores mais providenciais à qualidade ambiental.

Tabela 4 - Pesos para cobertura do solo compilados por ROSS, 2009

Tipo de cobertura	ROSS (2009)	N
Vegetação de grande e médio porte	4,5	0,9
Vegetação rasteira e pequeno porte	3,5	0,7
Solos descobertos	1,0	0,2
Mancha Urbana	1,0	0,2

Geologia

Por meio do trabalho descritivo “Carta das Unidades Geotécnicas (CUG)”, Maciel Filho (1990), único trabalho realizado até o presente momento na região de estudo. Foram extraídas concepções sobre o estudo geológico da região adotando os critérios que foram atualizados pelo Simpósio de Geociências e Meio Ambiente, Ernandes (2013) em mapas geológicos diferenciam unidades litoestratigráficas que podem ser associadas a diferentes seqüências como formações, grupos e complexos. Possuem múltiplas

utilidades como a de servir de apoio à pesquisa de bens minerais, elaboração de mapas de risco, localização de diferentes tipos de aquíferos, além de fornecer subsídios ao planejamento territorial. As formações encontradas na região foram a Rosário do Sul, Arenito Basal Santa Maria, Formação Santa Maria exceto Arenito Basal, Formação Caturrita, Diabásio Serra Geral, Arenito Botucatu, Basaltos Serra Geral, Riólito da Serra Geral.

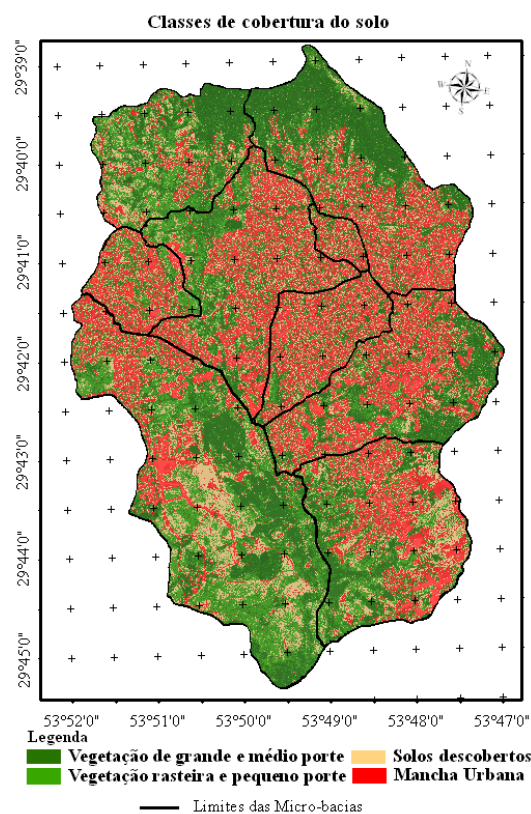


Figura 5 - Classes do Solo - Hoover e Giarratani (1984)

A Figura 6 apresenta a classificação das formações da sub-bacia segundo Maciel Filho (1990) e Ernandes (2013).

As informações da qualidade ambiental da sub-bacia foram baseadas nas características da formação por meio das variáveis de permeabilidade, resistência à erosão e vulnerabilidade à poluição.

Dentre os efeitos mais graves da impermeabilização da superfície destacam-se: maiores picos de vazão e maiores volumes, maiores picos a jusante, assoreamento de canais e galerias, entupimento de bueiros, degradação da qualidade da água, doenças de veiculação hídrica, maiores custos de utilidades

públicas e perdas e prejuízos às populações que sofrem com as inundações (TUCCI, 2009).

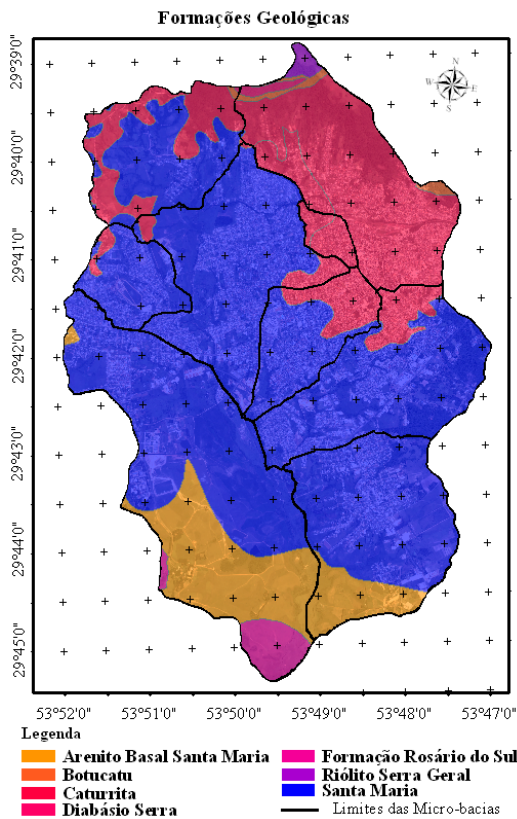


Figura 6 - Classificação das formações da sub-bacia segundo o trabalho “Carta das Unidades Geotécnicas (CUG)”, de Maciel Filho (1990).

Segundo Dias (2012) os parâmetros relacionados aos líquidos que permeiam pelo solo são representados pela viscosidade dinâmica do fluido e o peso específico do fluido. Quanto às características do solo que afetam sua condutividade hidráulica, tem-se: tamanho das partículas; índice de vazios (relacionado ao tamanho e distribuição dos poros); grau de saturação; textura (relacionada à distribuição do tamanho dos grãos), e composição. Os solos podem ser classificados segundo a condutividade hidráulica, em sete classes, conforme a tabela 5 que apresenta valores típicos da Condutividade Hidráulica K (médios) em função dos materiais (solos arenosos e argilosos). Em ambos os casos, os métodos de medida baseiam-se no mesmo princípio: impõem-se certas condições ao fluxo da água por meio de um volume de solo e mede-se a descarga ou a densidade do fluxo Toby (2012).

A tabela 6 apresenta as características das formações que são relevantes ao propósito deste estudo em linguagem técnica formal baseada em Toby (2012) e Filho (1990). Na tabela estão apresentados as avaliações do especialista com a devida normalização (N) obtida no modelo PEIR.

Tabela 5 - Condutividade Hidráulica K (cm/h) Toby (2012)

Classe	K (cm/h)
Muito lenta	< 0,13
Lenta	0,13 a 0,51
Moderadamente lenta	0,51 a 2,00
Moderada	2,00 a 6,30
Moderadamente rápida	6,30 a 12,70
Rápida	12,70 a 25,40
Muito Rápida	>25,40

Tabela 6 - Permeabilidade, compilada de Toby (2012) e Maciel Filho (1990).

Formação	Permeabilidade	N
Arenito Botucatu	Elevada	1
Formação Caturrita	Moderada a baixa	0,3 7
Formação Rosário do Sul	Moderada a baixa	0,0 4
Formação Santa Maria	Baixa	0,0 12
Ritólito Serra Geral	Moderada	0,1 6
Basaltos da Serra Geral	Elevada	1
Arenito Basal Santa Maria	Elevada	1

Na resistência à erosão, partículas “vizinhas” exercem forças de contato sobre a partícula impactante, que também é sujeita à força de arraste provocada pelo fluido e pelo próprio peso. Porém, com maior importância está a força de contato provocada pela reação da superfície ao impacto, responsável por desacelerar a partícula da sua velocidade inicial no momento da colisão, Tiboni (2013). O processo constituído basicamente de três eventos sequenciais caracterizados pelo desprendimento das partículas dos agregados do solo, do transporte e da deposição das partículas carregadas nas seções inferiores das paisagens. Para um sistema ambiental, quanto maior a resistência à erosão menor os danos ambientais. Esse desprendimento e transporte são causados pela

ação das gotas de chuva e da força cisalhante do escoamento superficial, constituindo a fase inicial e mais importante da erosão hídrica.

A tabela 7 apresenta uma compilação do trabalho de Maciel Filho (1990). Na tabela estão apresentadas as avaliações do especialista com a devida normalização obtida no modelo PEIR.

Tabela 7 - Classificação das formações da Sub-bacia do Arroio Cadena segundo a resistência à erosão, compilada de Maciel Filho (1990).

Formação	Resistência à erosão	N
Arenito Botucatu	Alta (região de estudo)	1,0
Caturrita	Baixa	0,1
Rosário do Sul	Pouca ou baixa	0,2
Santa Maria	Baixa	0,1
Ritólito Serra Geral	Baixa	0,1
Basaltos e Diabásio Serra Geral	Baixa (por escorregamento)	0,1
Arenito Basal Santa Maria	Pouca ou baixa	0,1

A vulnerabilidade à poluição, nos estudos de geologia tem proveniência da sensibilidade da qualidade das águas subterrâneas a uma carga poluente é função apenas das características intrínsecas do aquífero.

A vulnerabilidade de uma formação está à mercê da do grau de ocupação da região. Em regiões não habitadas o grau de vulnerabilidade pode ser usado para estudar o quanto propícia estará à região em receber empreendimentos. Já nas regiões em que a ocupação humana já está consolidada procura-se mitigar os problemas de vulnerabilidade. Condiicionado a esta sistemática, a tabela 8, apresenta a classificação das formações da sub-bacia segundo a vulnerabilidade à poluição, compilada de Maciel Filho (1990) em relação ao grau de ocupação. Na tabela estão apresentadas as avaliações do especialista com a devida normalização obtida no modelo PEIR. A formação de valores atribuídos, segundo o especialista, está condicionada a um valor numérico com base nos estudos do mesmo. Sendo assim a formação menos vulnerável apresenta como peso de valor a unidade, enquanto que a mais vulnerável o peso 0,2. Esta condição condiciona uma avaliação de

o quanto propícia é a formação para suportar a poluição ao qual pode ser exposta.

Tabela 8 - Formações segundo a vulnerabilidade à poluição, Compilada de Maciel Filho (1990).

Formação	Vulnerabilidade	N
Arenito Botucatu	Alta	0,2
Formação Caturrita	Média	0,6
Formação Rosário do Sul	Baixa a média (moderada)	0,4
Formação Santa Maria	Baixa	1,0
Ritólito Serra Geral	Elevada ou alta	0,2
Diabásio Serra Geral	Elevada ou alta (local de estudo)	0,2
Arenito Basal Santa Maria	Alta	0,2

Pedologia

O levantamento pedológico de vulnerabilidade dos solos é uma técnica semi-quantitativa, que permite a determinação de áreas onde a proteção ambiental promovida pelo componente solo é menor. Quando os solos recebem cargas de contaminantes, seus diversos componentes atuam no sentido de diminuir a mobilidade desses elementos. A Vulnerabilidade dos solos foi definida pelo Seminário sobre Vulnerabilidade na Europa SOVEUR (Soil Vulnerability in Europe) em 2007 como sendo a “capacidade do solo ser danificado em uma ou mais de suas funções ecológicas”. A Figura 7 representa a distribuição das unidades pedológicas contidas na sub-bacia e as áreas limites das micro-bacias.

Nas unidades dos estudos citados de paisagem naturais consideradas estáveis o valor atribuído na escala de vulnerabilidade é “1” e são representados pela classe de solos do tipo Latossolos. Os Latossolos são solos bem desenvolvidos, com grande profundidade e porosidade. Nas unidades de paisagem naturais consideradas intermediárias o valor atribuído aos solos na escala de vulnerabilidade é 2, e são representados pela classe de solos do tipo Podzólicos. Os solos Podzólicos apresentam profundidade menor e são solos menos estáveis e intemperizados. Nas unidades de paisagem naturais consideradas vulneráveis ocorrem solos aos quais é atribuído o valor “3”, estes solos são jovens e pouco desenvolvidos, isto é, sua característica principal é a pequena evolução dos perfis de solo. A sub-bacia apresenta uma diversificação de tipos de solos estudada por Rosa et. al (2006) que em termos do estado da arte é o mais recente sobre o assunto. Estas classes foram relacionadas à classificação de Vulnerabilidade e

Estabilidade (V/E) de Crepani et al (2001) e ao trabalho de Filho (1990). A Tabela 9 mostra a Vulnerabilidade /Estabilidade em relação aos tipos de Solos. Os valores normalizados são apresentados na última coluna da mesma tabela.

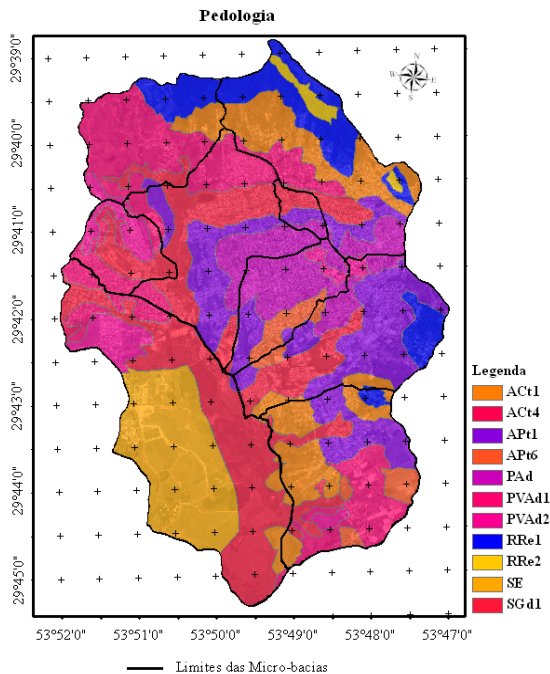


Figura 7 - Distribuição das unidades pedológicas contidas na sub-bacia.

Tabela 9 - Vulnerabilidade/Estabilidade – Tipos de Solos, compilada de CREPANI, 2001.

Solo	Nomenclatura	V/E	N
ACt1	Alissolo crômico argilúvico	2,0	1
ACt4	Alissolo crômico argilúvico	2,0	1
APt1	Alissolo hipocromico argilúvico	2,0	1
APt6	Alissolo hipocromico argilúvico	2,0	1
PAd	Argissolo amarelo distrófico	2,0	1
PVAd 1	Argissolo vermelho-amarelo distrófico	2,0	1
PVAd 2	Argissolo vermelho-amarelo distrófico	2,0	1
RRe1	Neossolo regolítico eutrófico léptico	3,0	0
RRe2	Neossolo regolítico eutrófico léptico	3,0	0
SGd1	Planossolo hidromórfico distrófico	2,0	1

Áreas de risco em declividade

Com o propósito de gerar a representação das áreas de risco, foi necessária conformar as declividades da sub-bacia. O arquivo de curvas de nível recortada pelo limite da bacia foi confeccionado a partir da Carta Topográfica de Santa Maria – SE (Folha SH.22-V-C-IV/1-SE), 1988, na escala de 1:25.000, elaborada pela Divisão de Serviços Geográficos do Exército Brasileiro (SGEB). Na sequência obtiveram-se as feições das curvas de nível em intervalos de 10 metros, gerando a grade triangular vetorial com topologia nó-arco em faces triangulares no formato vetorial.

Esta imagem foi fatiada e, as classes de declividades discriminadas em seis intervalos distintos sugeridos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Torresan et. al., 2012: 0-3% (relevo plano), 3-8% (relevo suavemente ondulado), 8-20% (relevo ondulado), 20-45% (relevo fortemente ondulado), 45-75% (relevo montanhoso), e, > 75% (relevo fortemente montanhoso).

Tabela 10 - Valores normalizados para classes de declividade

Classes de declividade Vegetação/dissecação do relevo	N
Muito Fraco – < 3%	1
Fraco – 3 a 8%	1
Médio – 8 a 20%	1
Forte – 20 a 45%	1
Muito Forte – 45% a 75%	0
Severamente Forte - > 75%	0

A Lei Federal brasileira de n.º 6.966/79 do Parcelamento do Solo Urbano, ainda vigente, em seu artigo 3º e parágrafo único, estabelece que:

[...] somente seja admitido o parcelamento do solo para fins urbanos em zonas urbanas, de expansão urbana ou de urbanização específica, assim definidas pelo plano diretor ou aprovadas por lei municipal, não sendo permitido o parcelamento do solo em terrenos com declividade igual ou superior a 30% salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes. Contudo, há uma brecha que deixa a critério dos municípios a aceitação da ocupação da faixa de declividade entre 30 e 45% desde que seja apresentado laudo geotécnico. A figura 8

mostra a declividade em percentual relacionada à dissecação do relevo. A tabela 10 apresenta as classes de declividade com seus valores normalizados sendo considerado o valor unitário até o limite de 45%.

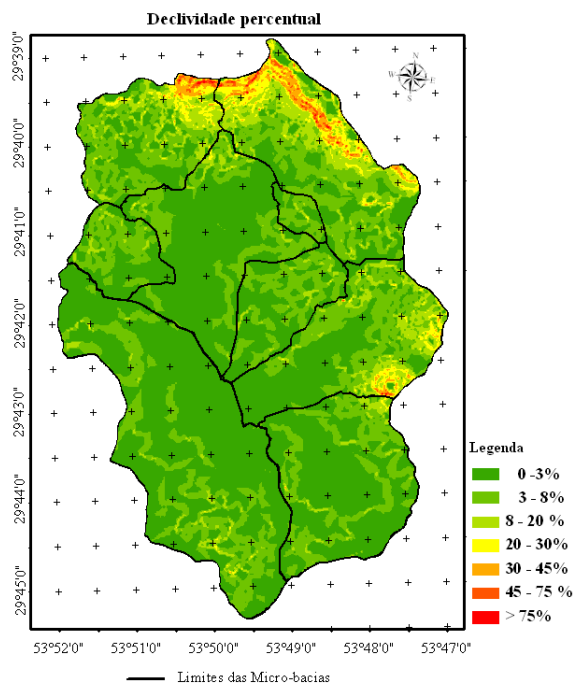


Figura 8 - Declividade em percentual relacionada à dissecação do relevo

Áreas de conservação natural e de preservação permanente

No estudo da sub-bacia surgiu a necessidade de delinear as áreas de preservação do entorno dos rios e córregos existentes. Em função desta necessidade, foi realizado um levantamento de campo de toda a rede hidrográfica da sub-bacia. Na sequência, foi necessária uma classificação em ordem de hierarquização fluvial, para que fosse possível verificar o grau de influência em cada micro-bacia em termos de Áreas de Preservação Permanentes (APPs). A sistemática utilizada foi a de Strahler (1964).

Após o levantamento dos mananciais dentro da área da bacia, foram enquadrados e representados segundo a lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 - Código Florestal brasileiro, em seu art. 2º:

“As florestas e demais formas de vegetação natural situada:

“[...] ao longo dos rios ou de qualquer curso d’água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima seja de 30 metros para os cursos d’água de menos de dez metros de largura; de 50 metros para os cursos d’água que tenham de dez a 50 metros de largura; ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d’água naturais ou artificiais; nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados olhos d’água, qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 metros de largura”. Em uma segunda etapa, ainda baseada na legislação local coube particularizaram-se as demais áreas que estão contempladas na Lei Complementar nº 072, de 04 de novembro 2009, Instituiu a Lei de Uso e Ocupação do Solo, Parcelamento, Perímetro Urbano e Sistema Viário do Município de Santa Maria. A lei trata das Áreas Especiais Naturais (AEN): “O território municipal terá áreas especiais naturais, definidas e delimitadas conforme seus anexos (Mapa das Áreas Especiais Naturais).

A tabela 11 representa os valores ponderados de ordem das áreas de APPs e AEN com o valor unitário e nulo para as demais, bem como dos valores normalizados. As duas feições foram representadas na Figura 9.

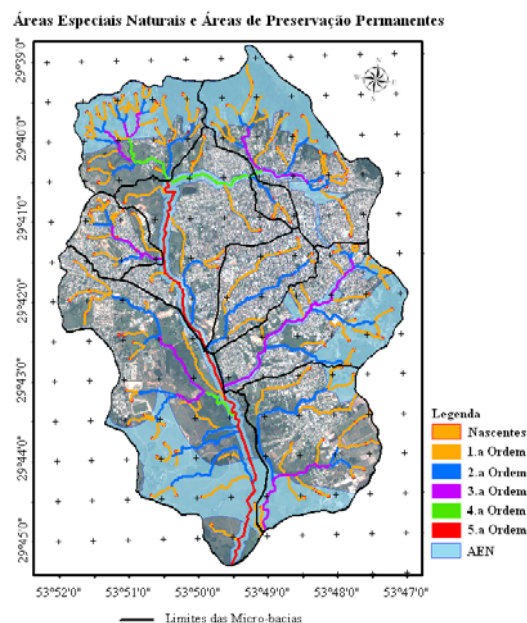


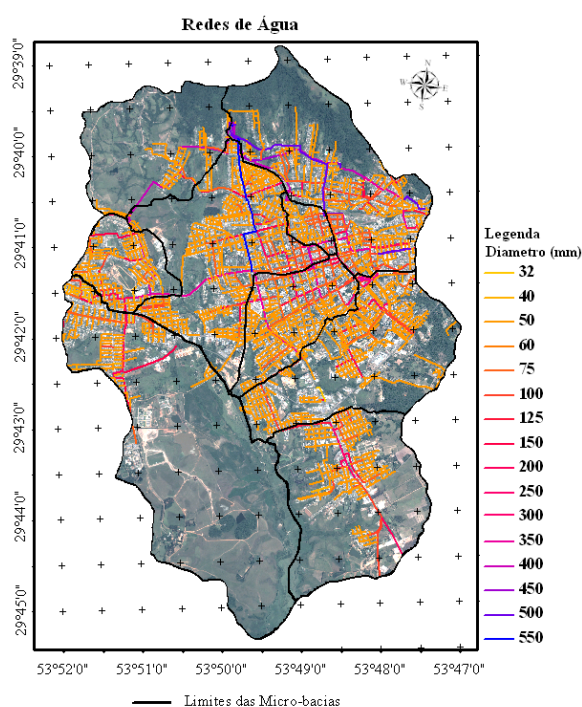
Figura 9 - Áreas de conservação natural e de preservação permanente

Tabela 11 - Valores normalizados para APPs e AEN.

Classes de APPs e AEN	Ordem	N
Classificação e Strahler (APPs)	1	1
AEN	1	1
Demais áreas	0	0

Redes de água e esgoto

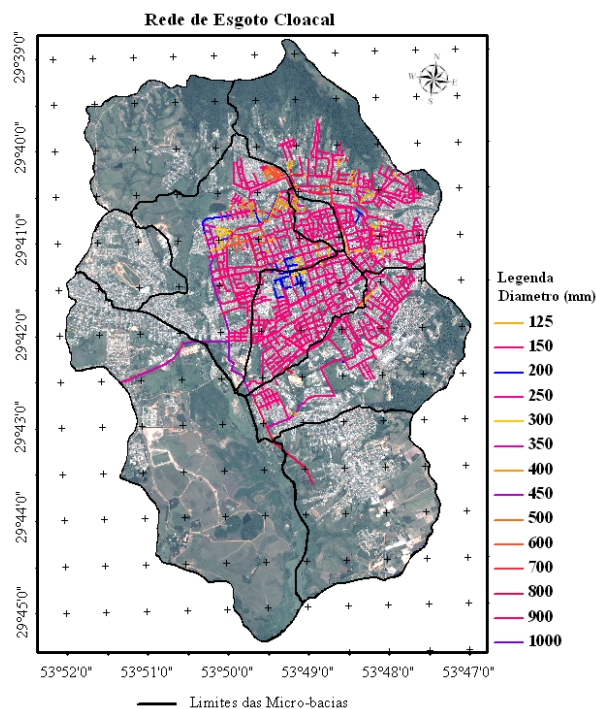
À medida que uma região possui uma maior distribuição de redes de água e esgoto melhores serão as condições de saneamento da região e, por conseguinte melhor será a qualidade ambiental. A Figura 10 e 11 demonstram a distribuição das redes de água e esgoto na região de estudo.

**Figura 10 - Redes de Água**

A normalização das redes obedece à condição do intervalo de valores PEIR, ou seja, quanto maior o diâmetro da rede de esgoto ou de água mais próximo da unidade será seu valor normalizado.

A expansão urbana sobre uma determinada área está condicionada à existência e a capacidade das redes de água e esgoto. Redes de água deficientes em vazão acabam levando seus moradores ao uso de poços artesianos, assim como redes de esgoto

deficientes a direcionar o esgoto aos mananciais. Regiões com redes de diâmetros maiores estariam já planejadas para receber a expansão espacial de redes no seu entorno e, com isso, evitam o uso de alternativas prejudiciais ao abastecimento de água e coleta de esgotos.

**Figura 11 - Redes de Esgoto**

Legislação

As leis de parcelamento para uso do solo são a principal resposta que o poder público pode dar para tornar eficiente a qualidade ambiental de uma região urbana. A sub-bacia é regida pela Lei complementar nº 072 de dezembro de 2009 que trata das Áreas de Zoneamento Urbano (AZU). As áreas com definições específicas de regramento para a expansão são classificadas como Sem novos loteamentos ou condomínios, Uso recreativo, Agrovila, Até 1 ha, Até 1,5 ha., Até 2 ha., Até 3 ha. No que tange à qualidade ambiental este tipo de procedimento visa reger as condições de ocupação do espaço urbano direcionando a medidas resposta ao sistema e ao aumento da malha urbana. A Figura 12 representa as diferentes associações em áreas de zoneamento atingidas pela mancha urbana, utilizadas para o cálculo dos percentuais de cada classifica-

ção das AZU do município e em cada micro-bacia da sub-bacia do Arroio Cadena, bem como da normalização destes fatores em cada micro-bacia. Na tabela 12 visualiza-se os valores apresentados e a normalização dos mesmos segundo a Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS).

Tabela 12 - Critérios de Parcelamento do Solo Urbano por zoneamento urbanístico para novos loteamentos e condomínios fechados – AZU

Denominação	Peso segundo LUOS	N
sem novos loteamentos ou condomínios	0,5	1,0
Uso recreativo	0,5	1,0
Agrovia	0,5	1,0
Até 1 ha.	1	0,8
Até 1,5 ha.	1,5	0,6
Até 2 ha.	2	0,4
Até 3 ha.	3	0

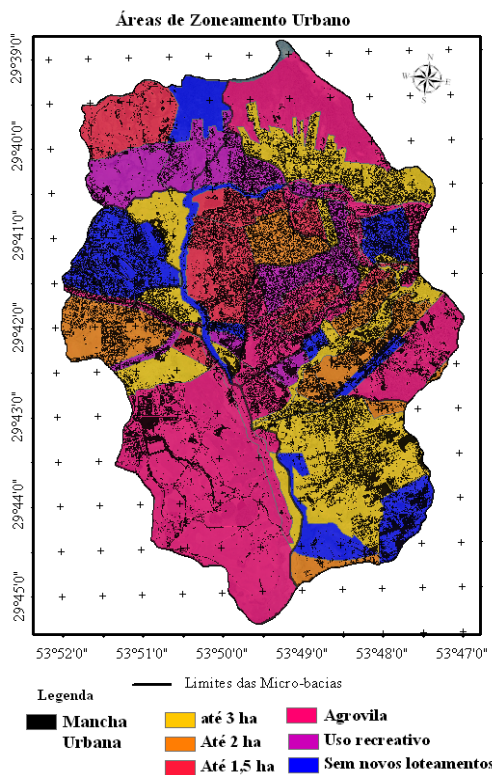


Figura 12 - Áreas de zoneamento urbano versus mancha urbana

RESULTADOS

A análise de Kernel para as redes viárias redes de água e esgoto

A Densidade de Kernel transformou a capacidade das redes em uma espacialização em área. A qualidade ambiental se torna favorecida quando a população localiza-se mais próxima destas redes de água e esgoto.

A maior capacidade viária representa as piores condições para a qualidade ambiental. O raio de evolução para Kernel foi adotado em 300m para todas as redes.

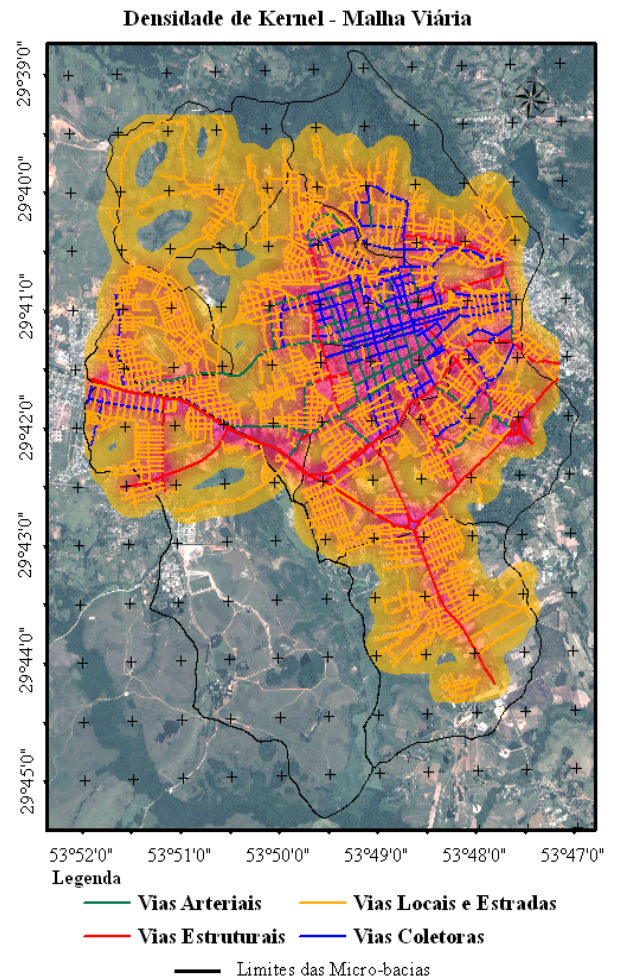


Figura 13 - Densidade de Kernel da malha viária

Para a rede viária, a figura 13 expõe em semitons do amarelo, menos vulnerável, para azul escuro, mais vulnerável a condição da qualidade ambiental segundo a densidade de Kernel. Para a qualidade ambiental a densidade de Kernel denota que uma micro-bacia exposta aos maiores valores de densidade (mais azul) estará mais vulnerável em detrimento de uma área localizada nas menores densidades (mais amarela).

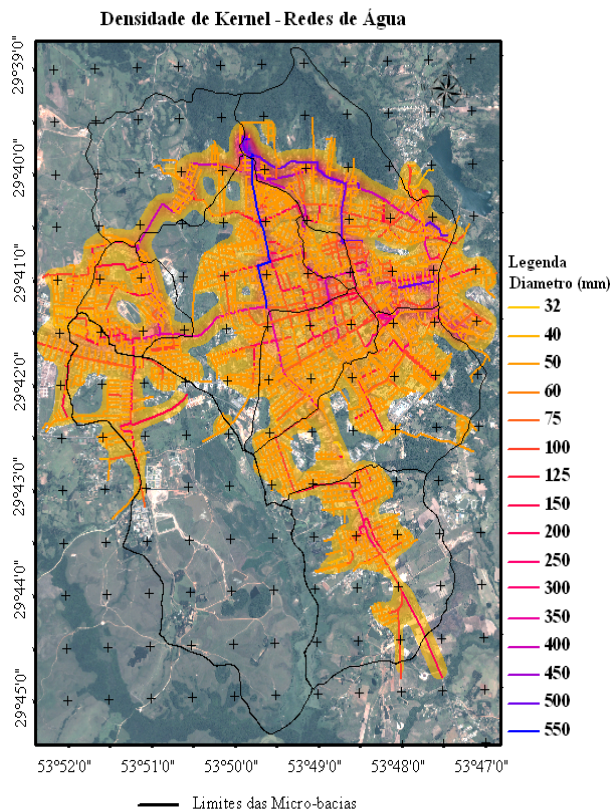


Figura 14 - Densidade de Kernel da rede de água

De forma dual, as figuras 14 e 15 mostram em semitons do amarelo para azul escuro, da mais vulnerável para a menos vulnerável, a condição da qualidade ambiental, segundo a densidade de Kernel, respectivamente, para as redes de água e de esgoto. Neste caso, para a qualidade ambiental, a densidade de uma micro-bacia exposta aos maiores valores de densidade (mais azul) estará mais abastecida pelas redes, as áreas amarelas para este caso estarão menos abastecidas e mais longe das redes de maior calibre.

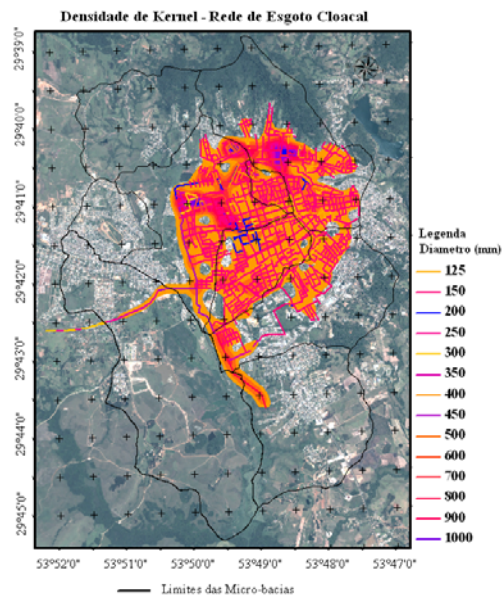


Figura 15 - Densidade de Kernel da rede de esgoto

Mapas dos indicadores do modelo PEIR

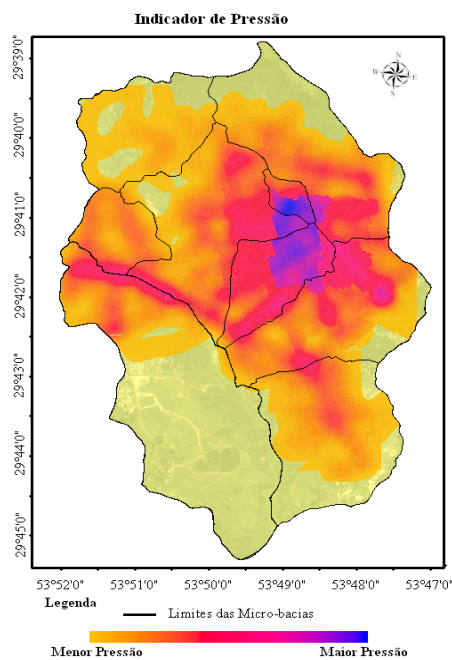


Figura 16 - Indicador de Pressão

As figuras 16 a 19 demonstram espacialmente os indicadores de qualidade ambiental da sub-bacia. Nos mapas, os semitons do amarelo para os semitons da tonalidade azul escura demonstram a pior condição da qualidade ambiental em relação

aos indicadores de pressão, impacto e resposta e vice-versa para o indicador de estado.

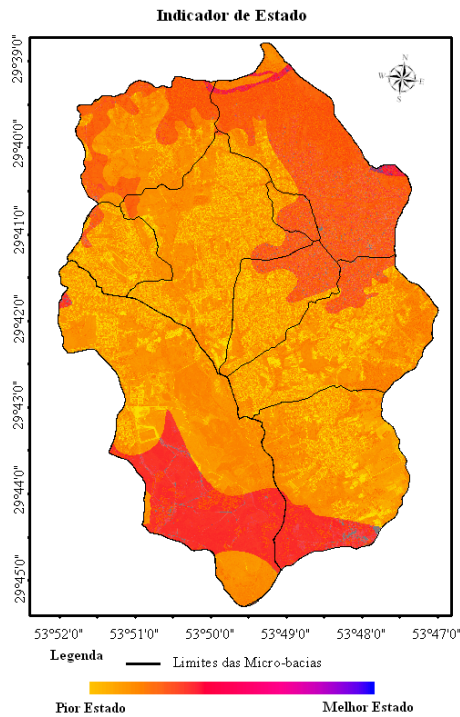


Figura 17 - Indicador de Estado

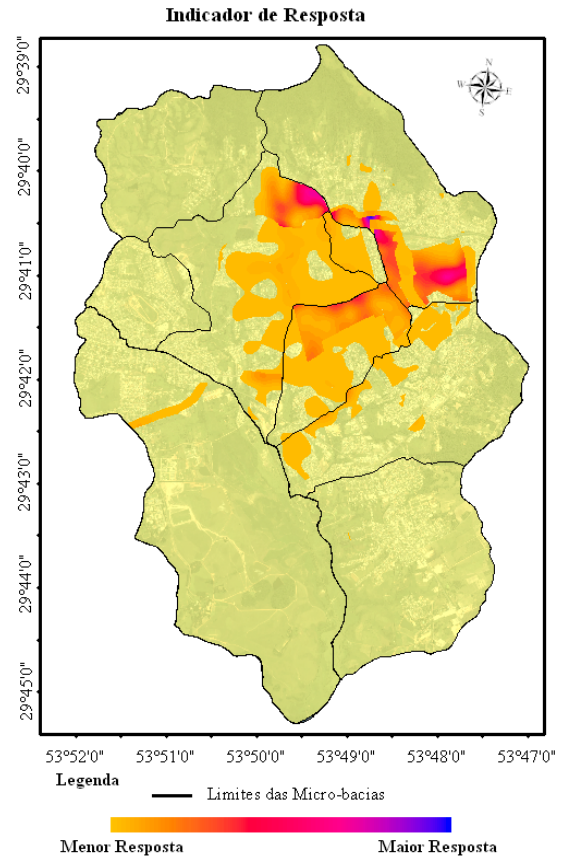


Figura 19 - Indicador de Resposta

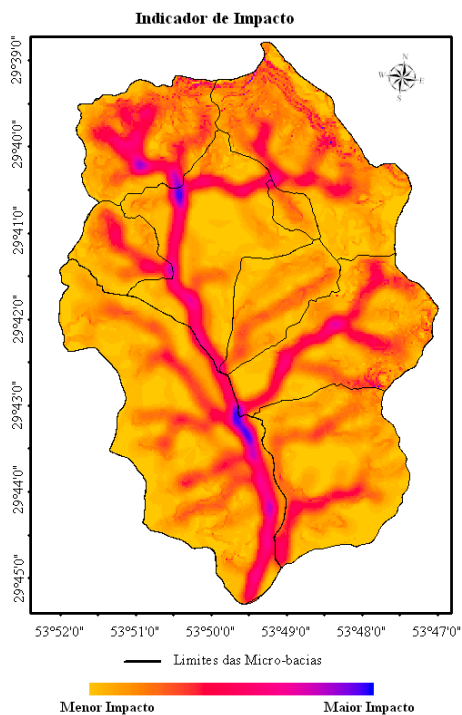


Figura 18 - Indicador de Impacto

DISCUSSÕES

A qualidade ambiental é um fator decisivo para manter a qualidade de vida de uma população, na gama de indicadores desta condição estão às bases de sustentabilidade de qualquer sistema ambiental que necessita da preservação dos recursos naturais pelo homem. Entretanto, as mudanças de caráter antrópico que estão sujeitas as bacias urbanas remetem a uma discussão bastante séria, principalmente pelos efeitos que as intervenções da tomada de decisão sobre estes meios venham a definir sua capacidade suporte. O Uso do Solo, População, Sistemas Viários, Cobertura do solo, Geologia, Pedologia, Áreas de Risco, Áreas de Preservação, Redes de Saneamento e a Legislação entre outros são importantes indicativos dentro do processo de busca da qualidade ambiental adequada dentro de uma bacia urbana. À medida que os mapas dos indicadores demonstram o grau de pressão exercida e do grau de resposta necessária para revertê-lo torna-se

possível avaliar o comprometimento dos impactos resultantes da tomada de decisão pelos gestores públicos.

Relativo ao indicador Pressão, o modelo PEIR demonstrou por meio da figura 16 que o indicador é bastante presente ao longo da bacia urbana. Esta condição está associada às micro-bacias que apresentaram uma concentração da população o que corrobora para a intensificação dos descritores de malha viária. Esta condição foi preponderante para a baixa qualidade ambiental na região central e urbanizada da bacia urbana. A análise proporcionou verificar que as bacias da Sanga da aldeia e Escola Urbana, localizadas ao centro da sub-bacia apresentaram valores altos para o coeficiente de aproveitamento, próximos a 1, o maior adensamento populacional por área de micro-bacia e da concentração de vias de maior fluxo viário.

O indicador de Estado da figura 17 apresentou uma condição bastante preocupante, pois a região urbanizada está sobre uma região bastante vulnerável em relação à compleição do aquífero. Esta condição é ainda mais prejudicada ao agregarem-se ao sistema subterrâneo, solos de vulnerabilidade/Estabilidade baixa. Nesta avaliação, a combinação solos vulneráveis e aquíferos que representam uma área considerável da sub-bacia. A localização sobre a formação Santa Maria, com baixa permeabilidade, suscita ao carregamento superficial do solo, além de uma vulnerabilidade fraca dos solos representados por Alissolos, Argissolos e Planossolos que carregam um a suscetibilidade a efeitos erosivos combinados com a baixa estabilidade.

O indicador de Impacto da figura 18 apresentou sua fragilidade ao longo de todos os mananciais da bacia devido ao avanço desordenado sobre as áreas de entorno dos arroios. Outra verificação neste indicador ficou a cargo da declividade demonstrando que o avanço da ocupação urbana na direção norte da bacia acarretará problemas futuros tais como deslizamentos ao longo das encostas dos morros de maior cota de declive. A evolução do indicador impacto também está muito consolidada na intervenção antrópica ao longo das APPs e AEN. Com base na figura 8 e 9 pode-se extrair que a região sofreu uma apropriação prejudicial em áreas de preservação permanente e especiais pelo aumento da pressão antrópica ao ponto de tornar irreversível a recuperação de áreas de nascentes e de rios de primeira e segunda ordem.

O indicador de Resposta da figura 19 em uma análise comparativa aos outros indicadores apresentou o pior desempenho e pode ser analisado como um retrato da dificuldade na tomada de deci-

são. As decisões sobre o regramento da ocupação sobre a área deverão ser revistos e condicionados às ações de equilíbrio com os outros indicadores buscando alternativas de mitigar as zonas de maior impacto e de proteção às zonas menos impactadas e aumentar a eficácia dos indicadores de resposta. O indicador de resposta é um termômetro da qualidade ambiental, mas também das escolhas das tomadas de decisão. A sub-bacia apresenta uma condição bastante direcionada às necessidades de ampliar as redes de saneamento, mas ao analisar-se as micro-bacias que possuem a mancha urbana, a decisão neste caso requer alternativas onerosas, haja vista que esta necessidade de ampliação de redes está localizada no centro nervoso da urbanidade. Em relação a legislação, similar em vários municípios do Brasil, o que acontece é que algumas destas legislações são recentes e carregam consigo a dificuldade de regram áreas que já estão prejudicadas pela ocupação desregrada do passado. A figura 12 é o retrato desta condição, nela pode-se verificar visualmente que a mancha urbana apresenta-se em avanço sobre áreas destinadas a agrovila, bem como de uso recreativo.

O estudo apresenta o status quo de uma região delineada por uma bacia de característica urbana bastante pronunciada. O modelo PEIR denotou uma condição bastante profícua à deterioração dos mananciais, solos e aquíferos, o que chama a atenção dos efeitos adversos da urbanização, redundando em usos de terras em inclinações elevadas que conduzem a erosão pronunciada além da poluição dos aquíferos em zonas fraturadas. A análise de resposta é providencial ao condicionamento de sistemas de análise dos fenômenos dinâmicos nesta sub-bacia que apresenta problemas que também são relevantes a outras bacias urbanas. Cabe ressaltar que algumas condições evidenciadas pelo modelo não possuem uma solução ideal, mas podem sinalizar à mitigação dos efeitos mais prejudiciais sem deixar de prover o conforto e a qualidade de vida da população.

CONCLUSÕES

As técnicas de análise espacial combinadas com o modelo PEIR mostram ser alternativa de ferramenta de análise da qualidade ambiental. O estudo dos indicadores de uma bacia urbana baseado nas interações entre a pressão, estado, impacto e resposta demonstraram as nuances da qualidade ambiental de uma bacia urbana, o que para o estado

da arte contribui com uma visão agregada das interações de causa e efeito sobre áreas que sofrem perturbações mais efetivas do homem. A análise espacial baseada nas avaliações dos especialistas demonstrou uma gama de cenários que pode ser suscitada em cada um dos indicadores. Interessante observar que regiões de grande Pressão (azul da Figura 16) não representam necessariamente a região de maior Impacto (azul da figura 17) devido o Estado e a Resposta ocorrerem em bom nível. É uma região que possui densa rede de esgotos e um meio físico mais robusto em termos geológicos, apesar da alta densidade demográfica. Isto implica em que, não necessariamente a região de maior pressão deva ser priorizada pelos investimentos do gestor público. Por vezes uma região mais frágil fisicamente embora com menos pressão de ocupação na tomada de decisão pode ser priorizada para impedir impactos maiores futuros.

O indicador de estado especializado denota uma condição que não está diretamente ligado à ocupação urbana, mas sim a uma característica intrínseca do meio relativo a suas características geológicas. A região em amarelo claro toma conta de grande parte da sub-bacia demonstra a precariedade da formação Santa Maria. A vulnerabilidade à poluição e resistência a erosão são fatores altamente prejudiciais ao aquífero ao longo de todas as micro-bacias. O indicador de resposta apresentou sérias dificuldades em relação às condições de avaliação de políticas efetivas de melhorias à qualidade ambiental. A resposta aos problemas pronunciados pelos indicadores requer uma avaliação de nível administrativo para que este indicador se torne um indutor de providências mais efetivas.

O indicador de estado demonstrou-se mais afetado por características intrínsecas do próprio ambiente.

O indicador de impacto esteve bastante pronunciado em todas as micro-bacias. A ocupação de APPs e AEN e o avanço sobre áreas de declividade com risco são bastante negligenciados com o severo comprometimento dos mananciais.

As decisões que afetam os processos ambientais são consideradas grandes desafios da humanidade devido ao fato de conjugarem diversos atributos que vão desde a sua complexidade, a incerteza e valores conflitantes, conhecimento incerto e incompleto, grande quantidade de pessoas envolvidas, ligações e desvios dos processos, gestão multidimensional e pressão temporal.

Deste modo, o processo de tomada de decisão eficiente sobre os aspectos ambientais requer não apenas bases eficientes de ciência ambiental,

mas também um melhor entendimento da interação homem e ambiente e o desenvolvimento e implementação dos processos que integrem ciências exatas e os efeitos sobre as pessoas e suas decisões.

REFERÊNCIAS

- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. DE; HERNANDEZ, 2001. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento territorial. São José dos Campos. SAE/INPE. (INPE-8454-RPQ/722).
- DIAS, C. O. Determinação da condutividade hidráulica de solos não saturados / Clarissa Oliveira Dias. – Curitiba, 2012.
- ERNANDES, A. M. S.; SOUZA, C. R. DE G.; ARMANI, G. DINIZ, H. N. R.; MENDES, M.. SIGMA, ANAIS DO 3º SIMPÓSIO GEOCIÊNCIAS E MEIO AMBIENTE/ – São Paulo: Instituto Geológico, 2013.
- FAGGIONATO, S. Percepção Ambiental. Material de Apoio – Textos. São Carlos (SP): USP, 2010. Disponível em: http://educar.sc.usp.br/biologia/textos/m_a_txt4.html. Acesso em: 20 out. 2010.
- FILHO, M. LEITE, C.; Carta Geotécnica de Santa Maria. Imprensa Universitária – UFSM 1990.
- HOOVER, E. M.; GIARRATANI, F. An introduction to regional economics. New York(1984).
- KAREN, C. SETO; REENBERG, A.; BONE, G. , M.; HAASE, D.; LANGANKE, T.; MARCOTULLIO, P.; MUNROE, D. M.; OLAH, B.; SIMON, D. Urban land teleconnections and sustainability. Clark University, Worcester, MA, 2011.
- LEI COMPLEMENTAR Nº 072, de 04 de novembro 2009, Instituiu a Lei de Uso e Ocupação do Solo, Parcelamento, Perímetro Urbano e Sistema Viário do Município de Santa Maria.
- OECD - Organization for Economic Co-operation and Development. OECD *Green Growth in Cities*. Israel, 2013.
- PDDUA, Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental do Município de Santa Maria (PDDUA), 2013- revisado- Santa Maria, RS.
- RAIOL, J. DE A. (coord.), Perspectivas para o meio ambiente urbano: GEO Marabá. Pará, Belém, 2010.

ROSA, F. DE A.; PEDRON, R. S. D.; DALMOLIN, P.; MIGUEL, R. S.; SANA (2006). Levantamento Semidetalhado de Solos em Ambiente Urbanos: Caso do Município de Santa Maria - RS.

ROSS, J. L. S. Ecogeografia do Brasil: subsídios para o planejamento ambiental. São. Paulo: Oficina de Textos, 2009.

STRAHLER, A. N. (1964) - "Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks". Section 4-II of Handbook of Applied Hydrology. McGraw-Hill Book Co., New York Survey. Prof. Paper (500-B):1-10.

TIBONI, G. B. Aplicação da técnica de emissão acústica em ensaios de desgaste erosivo. Curitiba, 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

TOBY, A. O'GEEN. Soil Water Dynamics: What are the relationships between soil moisture storage, soil water flow, and soil properties? The Nature Education, 2012.

TORRESAN, F. E.; RONQUIM, C. C.; EMBRAPA, Base de dados espaciais para avaliação da sustentabilidade e planejamento ambiental de paisagens agrossilviculturais, Circular Técnica, Campinas, SP 2012.

TUCCI, C. E. M. (org.) Hidrologia: Ciência e aplicação; 4ª ed. Porto Alegre: ed. UFRGS/ ABRH, 2009. p.943.

USSE, Urban soil sealing in Europe 2013 <http://www.eea.europa.eu/articles/urban-soil-sealing-in-europe>. Acesso em: 28 set 2013.

The PSIR Model And GIS Base And The Diagnosis Of Environmental Quality In An Urban Catchment

ABSTRACT

This is a study on the environmental diagnosis of an urban catchment. The theoretical rationale was based on the Pressure-State-Impact-Response (PSIR) technique to obtain quality indexes through plans on physical, environmental and socioeconomic information for the sub-basin of Arroio Cadena stream in the city of Santa Maria, central region of the state of Rio Grande do Sul, Brazil. The current situation was diagnosed based on 10 information plans using geoprocessing of basic data on descriptive features of the region studied, including sewage, water and road systems, and geological vulnerability. The qualification and quantification of the indicators were based on the conditions produced by human activities which lead to

Pressures on the environment that may affect its State, which, in turn have an Impact on society and on ecosystems, leading the government, organizations and the population in general to take measures as a Response to the system, thus seeking its stability. The indicators (PSIR) were valued by means of information plans associated with each of them. The results format 4 environmental maps for each of the indicators of the urban basin, showing 9 regions (microbasins) with the growing or decreasing potential of environmental quality, discriminated among themselves, and for each of these 9 regions the causes of environmental valuing in absolute terms. The results obtained can help decision makers to understand the consequences of their decisions on the environment, emphasizing urban waters. They can also help organize and prioritize the decision-making processes in a more appropriate and democratic form.

Key-words: *environmental quality, urbanization, spatial analysis.*