

JEAN BERNÁ PAIM

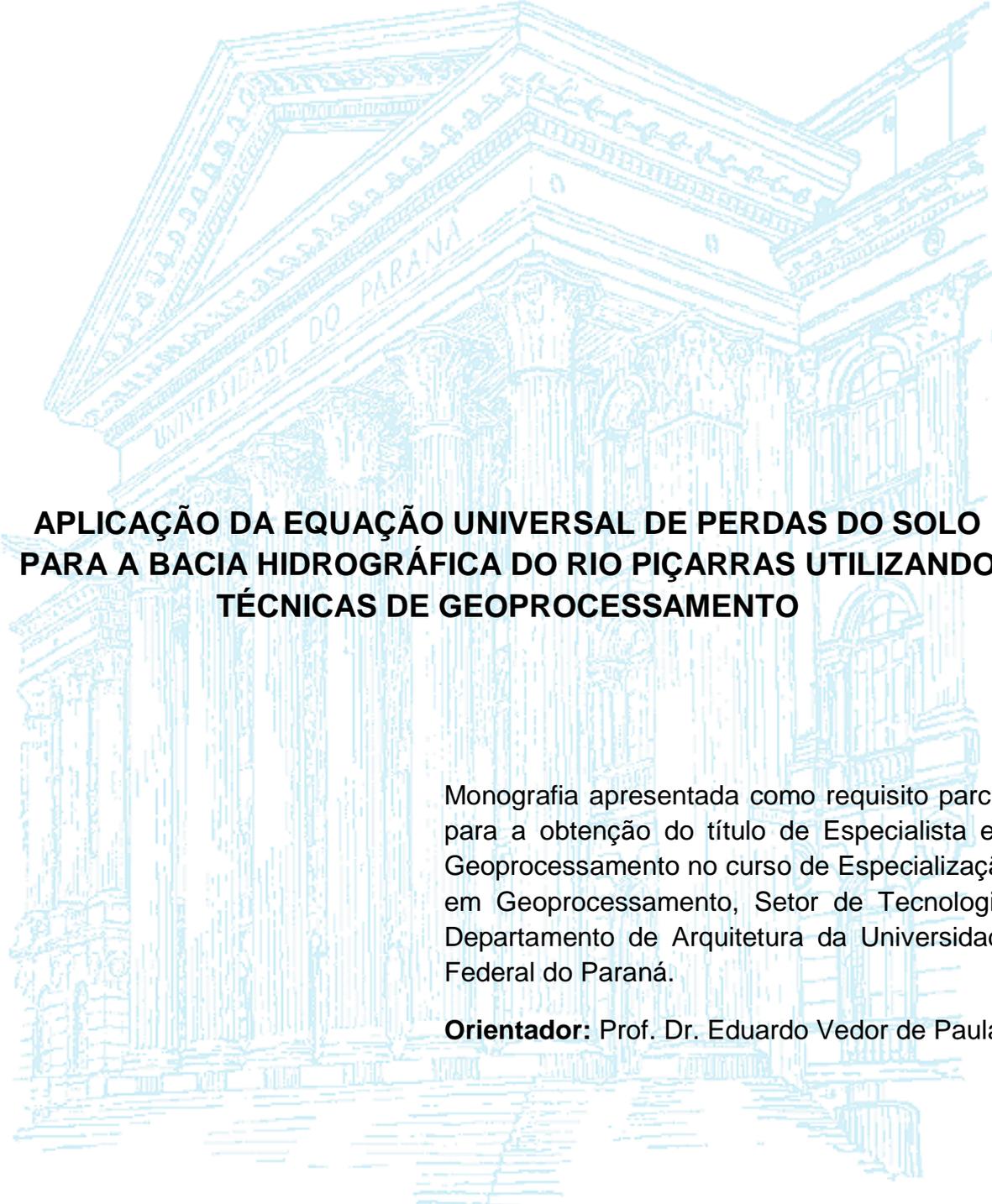


**APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DO SOLO
PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIÇARRAS UTILIZANDO
TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**

CURITIBA

2012

JEAN BERNÁ PAIM



**APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DO SOLO
PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIÇARRAS UTILIZANDO
TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Geoprocessamento no curso de Especialização em Geoprocessamento, Setor de Tecnologia, Departamento de Arquitetura da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Vedor de Paula

CURITIBA

2012

TERMO DE APROVAÇÃO

JEAN BERNÁ PAIM

APLICAÇÃO DO MODELO EUPS PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIÇARRAS UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista no Curso de Especialização em Geoprocessamento, Setor de Tecnologia, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:



Prof. Dr. Eduardo Vedor de Paula
Departamento de Geografia - UFPR

Avaliadores:



Prof. Dr. Fabiano Antonio de Oliveira
Departamento de Geografia - UFPR



Prof. Dr. Leonardo José Cordeiro dos Santos
Departamento de Geografia - UFPR

Curitiba, 14 de agosto de 2012.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| SUMÁRIO | 3 |
| LISTA DE FIGURAS | 5 |
| LISTA DE TABELAS | 6 |
| RESUMO | 7 |
| 1. INTRODUÇÃO | 8 |
| 2 - JUSTIFICATIVA | 10 |
| 3. OBJETIVOS | 12 |
| 3.1 OBJETIVO GERAL..... | 12 |
| 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 12 |
| 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 13 |
| 4.1 FATORES QUE INFLUENCIAM A EROÇÃO HÍDRICA..... | 13 |
| 4.2 BACIA HIDROGRÁFICA COMO OBJETO DE ESTUDO..... | 14 |
| 4.3 GEOPROCESSAMENTO APLICADO AOS RECURSOS HÍDRICOS..... | 15 |
| 4.4 PROCESSO DE EROÇÃO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS | 15 |
| 4.5 MODELOS PARA AVALIAR EROÇÃO | 17 |
| 5. ÁREA DE ESTUDO | 20 |
| 5.1 ASPECTOS GERAIS..... | 20 |
| 5.2 PEDOLOGIA..... | 21 |
| 5.3 CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO | 22 |
| 5.4 GEOLOGIA | 23 |
| 5.4.1 Depósitos Praiais Marinho/Eólicos (Quaternário - Holoceno)..... | 23 |
| 5.4.2 Depósitos Praiais Marinho/Eólicos (Quaternário - Pleistoceno) | 23 |
| 5.4.3 Depósitos Paleolagunares (Quaternário - Pleistoceno)..... | 23 |
| 5.4.4 Depósitos de Encostas (Terciário - Quaternário)..... | 23 |
| 5.4.5 Depósitos de Planície Colúvio-Aluvionares (Terciário - Quaternário)..... | 24 |
| 5.4.6 Complexo Granulítico Santa Catarina - (Arqueano) | 24 |
| 5.5 VEGETAÇÃO..... | 24 |
| 5.6 CLIMA | 25 |
| 5.7 BACIA HIDROGRÁFICA E DRENAGEM FLUVIAL..... | 26 |
| 6. MÉTODOS | 27 |
| 6.1 DEFINIÇÃO DE ABRANGÊNCIA DA ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA | 27 |

| | |
|---|-----------|
| 6.2 SÉRIE HISTÓRICA DE PLUVIOSIDADE | 28 |
| 6.3 DISCRETIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA E DOS CURSOS DE ÁGUA..... | 29 |
| 6.4 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE)..... | 30 |
| 6.5 MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO..... | 32 |
| 6.6 FATOR R (EROSIVIDADE DA CHUVA)..... | 36 |
| 6.7 FATOR K (ERODIBILIDADE DO SOLO) | 37 |
| 6.8 FATOR LS (FATOR TOPOGRÁFICO) | 38 |
| 6.9 FATOR CP (USO E MANEJO DO SOLO E PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS).... | 39 |
| 6.10 EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DO SOLO (EUPS)..... | 41 |
| 7. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 42 |
| 7.1 FATOR R (EROSIVIDADE DA CHUVA)..... | 42 |
| 7.2 FATOR K (ERODIBILIDADE DO SOLO) | 43 |
| 7.3 FATOR CP (USO E MANEJO DO SOLO E PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS)... | 47 |
| 7.4 FATOR A (PERDAS DE SOLO) | 48 |
| 8. CONCLUSÕES..... | 52 |
| 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 53 |
| 10. ANEXOS..... | 61 |
| ANEXO I - PADRÃO DE CORES PARA MAPA/CARTAS DE SOLO..... | 61 |
| ANEXO II - MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO COSTEIRA DE PENHA E PIÇARRAS - SC. | 62 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Esquema ilustrando as principais entradas e sumidouros sedimentares na enseada do Itapocorói: (1) Aporte da bacia hidrográfica; (2) <i>Bypassing</i> e; (3) Transporte ao longo e através da costa - litoral centro-norte de Santa Catarina, enfatizando que o aporte de Bacia hidrográfica do rio Piçarras é o foco deste trabalho..... | 11 |
| Figura 2 - Localização geográfica do município de Balneário Piçarras, em Santa Catarina e da Bacia hidrográfica do rio Piçarras delimitada a partir de dados altimétricos da missão SRTM, com 30 metros de resolução espacial. | 20 |
| Figura 3 - Tipos de solo para a Bacia hidrográfica do rio Piçarras, Mapa elaborado pela EMBRAPA Solos em 1999, em escala 1:250.000..... | 21 |
| Figura 4 - Classificação climática de <i>Köppen</i> do Estado de Santa Catarina (GAPLAN, 1986). | 25 |
| Figura 5 - Mapa de hipsometria para a bacia hidrográfica do rio Piçarras (MDE SRTM). | 32 |
| Figura 6 - Definição e traçado da mediatriz. | 27 |
| Figura 7 - Determinação do polígono de abrangência da estação pluviométrica..... | 28 |
| Figura 8 - Área de abrangência da Estação #019 determinada por polígonos Thiessen para a bacia hidrográfica do rio Piçarras..... | 29 |
| Figura 9 - Exemplo da inserção dos exutórios no modelo SWAT (em destaque - vermelho). Em preto é apresentada a linha de costa (1:50.000) e em azul os cursos de água gerados pelo modelo a partir do MDE inseridos sobre uma imagem Landsat 5 – TM (2010) da área de estudo. | 30 |
| Figura 10 - Fluxograma das etapas de funcionamento e aplicação da classificação supervisionada (LABGIS, 2010)..... | 35 |
| Figura 11 - Mapa de erodibilidade do solo (Fator K) para a Bacia hidrográfica do rio Piçarras..... | 44 |
| Figura 12 - Distribuição da declividade em porcentagem para a Bacia hidrográfica do rio Piçarras..... | 45 |
| Figura 13 - Mapa do Fator LS (Topográfico) gerado a partir do MDE SRTM para a Bacia hidrográfica do rio Piçarras. | 46 |
| Figura 14 – Mapa do fator CP (Uso e Manejo e Práticas Conservacionistas) para a Bacia hidrográfica do rio Piçarras (Década de 2000). | 48 |
| Figura 15 - Média da produção de sedimentos em toneladas por hectare (ton/ha.ano) da Bacia hidrográfica do rio Piçarras para a década de 2000 estimada pelo modelo EUPS..... | 49 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Classes de erodibilidade dos diferentes tipos de solo de acordo com ROSS (1994)..... | 18 |
| Tabela 2 – Grau de proteção dos diferentes tipos de uso e cobertura da vegetação de acordo com ROSS (1994). | 18 |
| Tabela 3 - Descrição da estação pluviométrica da bacia hidrográfica do rio Piçarras..... | 28 |
| Tabela 4 – Classes de altitude e área que cada classe definida representa na Bacia hidrográfica do rio Piçarras. | 32 |
| Tabela 5 - Tabela elaborada por LANDIS & KOCH (1977) para avaliar a qualidade do valor do índice Kappa encontrado após a classificação supervisionada..... | 35 |
| Tabela 6 - Classes de uso e ocupação da bacia hidrográfica do rio Piçarras (Imagem Landsat 5 – TM de 2010). área (m ²), frequência relativa (%) e respectivos valores do Fator C para cada classe definida..... | 40 |
| Tabela 7 - Fator R de erosividade da chuvas para cada ano (2001 a 2009) analisado na bacia hidrográfica do rio Piçarras e a média. | 42 |
| Tabela 8 - Tipos de solo, nomenclatura atual a valores de erodibilidade do solo (Fator K) para a Bacia hidrográfica do rio Piçarras..... | 44 |
| Tabela 9 - Classes de declividade da BHRP definidas de acordo com a EMBRAPA (1995). | 45 |
| Tabela 10 - Intervalo das classes de área (km ²) e frequência relativa (%) do Fator Topográfico (Fator LS - adimensional) para a bacia hidrográfica do rio Piçarras. | 47 |
| Tabela 11 - Classes de uso e ocupação da Bacia hidrográfica do rio Piçarras e respectivos valores do Fator CP para cada classe definida. | 47 |
| Tabela 12 - Distribuição do Fator A (Perdas de Solo) por classe de uso e ocupação do solo, juntamente com a área (km ²) de cada tipo de uso do solo distribuídas na Bacia hidrográfica do rio Piçarras..... | 50 |
| Tabela 13 – Porcentagem da área da Bacia hidrográfica do rio Piçarras inserida em cada uma das classes de perda de solo para estudos hidrossedimentológicos definidas por CARVALHO (1994), para a década de 2000..... | 50 |
| Tabela 14 - Distribuição da média das perdas de solo para a Bacia hidrográfica do rio Piçarras entre os anos de 2001 a 2009 por intervalo de perda de solo (CARVALHO, 1994), representados em porcentagem por tipo de solo em relação à área total da bacia..... | 51 |
| Tabela 15 - Distribuição da área relativa a cada tipo de solo que se encontra acima ou abaixo da tolerância de perda de solo (ton/ha.ano) de acordo com os intervalos definidos por MANNIGEL <i>et al.</i> (2002). | 51 |

RESUMO

Este trabalho apresenta uma avaliação do potencial de produção de sedimentos na Bacia hidrográfica do rio Piçarras e possível volume sedimentar que pode ser exportado para a Enseada do Itapocorói a partir da aplicação da Equação Universal de Perdas do Solo. A bacia hidrográfica possui uma área de aproximadamente 100km² e está localizada no litoral centro-norte do Estado de Santa Catarina. Um modelo digital de elevação foi utilizado para delimitar a área de drenagem da bacia hidrográfica, além de serem requeridos para a aplicação do modelo: mapas de uso e ocupação de solo para representar a década de 2000, mapa de tipos de solo e características pluviométricas da bacia hidrográfica (série histórica de precipitação). A análise da série de precipitação mostrou que a média anual para a década de 2000 foi de 1686,22 mm, com desvio padrão de 534,56 mm. Os resultados da aplicação da equação para a bacia hidrográfica resultaram em uma média de 47,93 ton/ha.ano de sedimentos erodidos que se tornam passíveis de serem transportados por agentes causadores da erosão hídrica. A análise espacial mostrou ainda que os maiores valores de erosão são encontrados em áreas com maior declividade associadas principalmente com culturas agrícolas, sendo que a crescente ocupação urbana do litoral suprimiu grande parte da floresta nativa (Mata Atlântica), tornando o solo naturalmente mais desprotegido.

1. INTRODUÇÃO

Os processos de erosão acelerada estão entre os eventos de degradação de maior significância ambiental, podendo causar redução da produtividade e contaminação/assoreamento dos recursos hídricos a partir da desagregação de partículas do solo, seu transporte e deposição em áreas mais baixas (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990). Os mesmos autores refletem ainda que em sistemas ambientais onde estes processos atuam de maneira crônica e sistemática podem ocorrer reduções na produtividade do solo. Além disso, as características dos sedimentos, nutrientes ou defensivos agrícolas transportados podem acarretar a modificação, contaminação ou degradação de corpos de água fluviais ou costeiros (BESKOW *et al.*, 2009).

A avaliação das perdas do solo é fundamental para que possam ser adotadas práticas de conservação e manejo visando minimizar a sua degradação, uma vez que o uso e ocupação do solo juntamente com características geopedológicas e climáticas de uma bacia hidrográfica irão determinar o balanço sedimentar do sistema (MARTINS *et al.*, 2003). Os autores ainda ressaltam que o transporte e deslocamento de grandes volumes sedimentares ao longo do curso de uma bacia hidrográfica podem alterar o seu ciclo hidrológico e a contribuição de sedimentos para áreas do litoral adjacentes ao seu exutório, além de afetar o uso de seus recursos hídricos, a conservação e a gestão da mesma.

AMORE *et al.* (2004) consideram que sérios problemas podem ocorrer quando existe uma combinação entre a intensificação da agricultura, degradação do solo e a intensificação das tempestades. A erosão hídrica, por ser seletiva, preferencialmente transporta os sedimentos de menor diâmetro e de baixa densidade, constituídos, sobretudo de colóides minerais e orgânicos (GUTH, 2010). Isto pode ocasionar perdas efetivas do solo, redução da sua fertilidade e da capacidade de retenção de água, danos a áreas agrícolas devido ao grande volume de sedimentos passíveis de serem transportados e o assoreamento e contaminação de corpos hídricos adjacentes, podendo provocar enchentes, por exemplo.

ZAKIA (1998) descreve que: (i) a área de uma bacia hidrográfica influencia o volume de água que ela é capaz de produzir (deflúvio); (ii) o relevo e a forma da

bacia regem a taxa e o regime que age sobre esta produção de água, que por sua vez são fundamentais na manutenção das variáveis que controlam os processos de sedimentação e; (iii) o padrão de drenagem irá influenciar a disponibilidade de sedimentos do sistema e a taxa de formação do deflúvio. O autor ainda conclui mediante estas observações que a estrutura geológica de uma bacia hidrográfica exerce controle e influência sobre grande parte das suas características físicas (área, sistema de drenagem, forma da bacia e características do relevo).

Problemas de erosão acelerada são decorrentes da susceptibilidade dos solos aliado a uma ocupação urbana desordenada e sem critérios básicos de planejamento ambiental (PAIVA *et al.*, 2003). O litoral centro-norte do estado de Santa Catarina vem sofrendo uma intensa ocupação nos últimos anos, sendo que esta ocupação aumenta gradativamente as áreas utilizadas para ocupação humana, ora por causa da urbanização, ora pela extensão de fronteiras agrícolas e, supressão de áreas nativas de vegetação, que servem como uma barreira protetora do solo.

Este trabalho apresenta parte dos resultados de um estudo realizado que buscou quantificar, ao longo do tempo, se o aumento da ocupação urbana do litoral ao longo de três décadas (1980 a 2000) influenciou na disponibilidade de sedimentos da bacia hidrográfica para a Enseada do Itapocorói. Os resultados deste estudo serão interpretados com os resultados de outros trabalhos para tentar correlacionar a erosão da praia da enseada com uma das fontes de entrada e saída de sedimentos do sistema.

Desta forma, estão apresentados no presente trabalho somente os resultados encontrados para a década do ano 2000, sendo que há uma descrição detalhada da metodologia e dos produtos gerados, visando atender os requisitos exigidos pelo programa para a obtenção do título de especialista em geoprocessamento.

2 – JUSTIFICATIVA

O balanço sedimentar em praias, que controla os processos de deposição e erosão costeira é decorrente de três fatores principais que podem agir, na maioria das vezes, de forma concomitante sobre o ambiente: (i) variação relativa do nível do mar (eventos de tempestade); (ii) desequilíbrio do aporte de sedimentos em nível local e; (iii) características do regime energético (clima de ondas) incidente (KOMAR, 1976). Estes parâmetros podem induzir a um fenômeno erosivo local ou regional, em função da diversidade dos agentes indutores.

Áreas de acreção ou erosão (mudanças no volume) ocorrem naturalmente ao longo da zona costeira sendo que enquanto algumas modificações são menores e imperceptíveis, outras podem acarretar situações dramáticas tanto em curto como em longo prazo (MARTINS & URIEN, 2004).

Zonas de Erosão Acentuada (ZEA) são regiões expostas a uma energia de transporte potencial de sedimentos maior do que a carga sedimentar aportada para manter o equilíbrio do sistema (FINKL, 1996). A interação destes processos vem causando um problema crônico de erosão da faixa de areia nas praias do litoral centro-norte de Santa Catarina (HOEFEL, 1998).

No município de Balneário Piçarras a situação de erosão praias se tornou drástica a partir do final da década de 1990 (HOEFEL, 1998). O governo em parceria com a iniciativa privada realizou um aterro hidráulico para restabelecer a praia devido ao grande volume de areia erodido da porção emersa das praias adjacentes a desembocadura do rio Piçarras, depois que outras metodologias de retenção de sedimentos (gabiões e espigões) não apresentaram resultado (ARAUJO *et al.*, 2010).

Estudos realizados na região (HOEFEL, 1998; KLEIN, 2004; ARAUJO *et al.*, 2010) definiram as principais fontes e sumidouros de sedimentos para a enseada do Itapocorói, que estão representadas na Figura 1. Desta forma, estudos estão sendo desenvolvidos na região focando discutir e quantificar a contribuição sedimentar de cada um dos processos em questão: (i) aporte da Bacia Hidrográfica; (ii) *bypassing* nos promontórios rochosos e molhes/guia correntes e; (iii) transporte ao longo e

através da costa. É atribuído aos problemas recorrentes da formação e manutenção da ZEA ao longo da enseada o fato de que haja um *déficit* na contribuição de sedimentos, essencialmente de areia, de umas das fontes citadas anteriormente. Com a integração dos resultados obtidos em cada projeto é esperado que seja apontada a relevância de cada um destes processos com a formação e manutenção da ZEA na enseada do Itapocorói, fornecendo subsídios para que medidas de prevenção possam ser melhor direcionadas a fim de manter o equilíbrio morfológico do ambiente de praia.

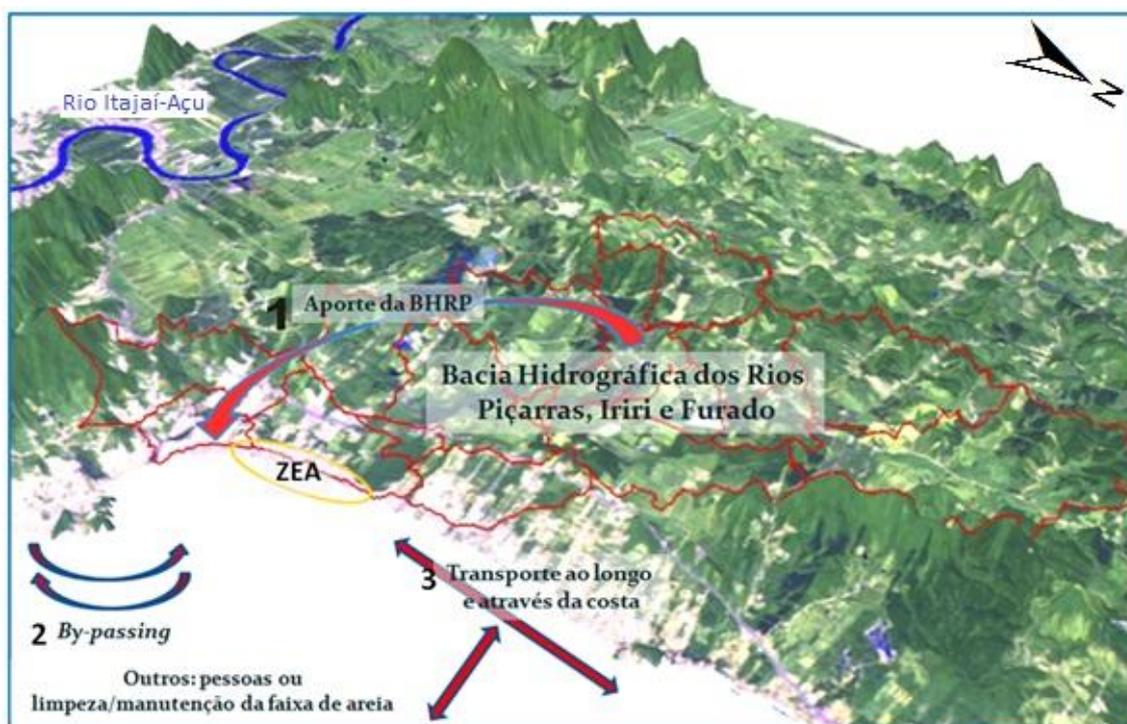


Figura 1 – Esquema ilustrando as principais entradas e sumidouros sedimentares na enseada do Itapocorói: (1) Aporte da bacia hidrográfica; (2) *Bypassing* e; (3) Transporte ao longo e através da costa - litoral centro-norte de Santa Catarina, enfatizando que o aporte de bacia hidrográfica do rio Piçarras é o foco deste trabalho.

Sendo assim, este trabalho está baseado na proposta de avaliar o potencial de aporte sedimentar da bacia hidrográfica do rio Piçarras (BHRP) para a década de 2000 a partir da aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo e de técnicas de geoprocessamento.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

- Avaliar o potencial de produção de sedimentos da Bacia hidrográfica do rio Piçarras durante a década de 2000 (2001 a 2009) a partir da aplicação do modelo Equação Universal de Perdas do Solo e técnicas de geoprocessamento.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Calcular o Fator R (erosividade da chuva) para a década de 2000;
- Elaborar o mapa temático de uso e ocupação do solo para a Bacia hidrográfica do rio Piçarras com base na imagem de satélite de 2010;
- Calcular o Fator Topográfico (Fator L e Fator S) com base no modelo digital de elevação SRTM;
- Aplicar a Equação Universal de Perdas do Solo para a bacia hidrográfica do rio Piçarras.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os ecossistemas continentais estão sujeitos aos mais diversos impactos resultantes de atividades antrópicas, como a construção civil, construção de reservatórios, barragens, turismo, irrigação, agricultura, aquicultura e despejo de efluentes (TUNDISI, 2006). A bacia hidrográfica vem sendo utilizada como um modelo mais abrangente de unidade física para que possa ser realizado o conhecimento, caracterização e avaliação das práticas de manejo que devem ser adotadas visando o uso coerente dos recursos disponibilizados por este sistema.

4.1 FATORES QUE INFLUENCIAM A EROÇÃO HÍDRICA

A degradação do solo ocorre em geral a partir da interferência antrópica sobre este recurso natural (SILVA *et al.*, 2005), sendo que quatro fatores e suas interações (WISCHMEIER & SMITH, 1978) são considerados determinantes para as taxas de erosão hídrica: (i) clima, essencialmente a precipitação pluviométrica; (ii) o solo, principalmente a sua resistência à degradação; (iii) topografia, representada pelo grau de declive e o comprimento de rampa e; (iv) a cobertura do solo.

Na medida em que o manejo do solo causado pelas diversas atividades humanas elimina a cobertura vegetal, a superfície do solo sofre modificações nas suas condições físicas, alterando sua rugosidade, porosidade e taxa de infiltração da água (ALBUQUERQUE *et al.*, 2002). Com o impacto da chuva e a potencialização dessa energia gerada causada pela ação de enxurradas ou tempestades, pequenas partículas são desagregadas do solo e se acomodam junto a superfície, obstruindo poros e reduzindo a infiltração. O transporte de partículas é maior caso não existam obstáculos, como a própria vegetação ou resíduos gerados por ela. Durante a deposição, estas partículas de solo erodidas podem provocar o assoreamento de rios, barragens, baixadas, redução da qualidade do solo, entre outros (VEIGA & AMADO, 1991).

GUTH (2010) *apud* ELLISON (1947) descreve que o impacto direto das gotas de chuva sobre o solo descoberto é responsável por 95% da erosão hídrica. SILVA *et al.* (2005) avaliaram perdas de solo e água em Cambissolos e Latossolos, encontrando perdas médias anuais de 205,65 e 14,90 ton/ha. PAULA (2010) verificou um aumento de aproximadamente 78% em cinco anos na produção de

sedimentos da área de drenagem da Baía de Antonina, composta por solos do tipo Cambissolo, Neossolos, Argissolos e Gleissolos, dentre outros, sendo que estes quatro tipos citados e suas associações são encontrados na bacia hidrográfica de interesse.

4.2 BACIA HIDROGRÁFICA COMO OBJETO DE ESTUDO

Para GUERRA (1978) a bacia hidrográfica é definida como um conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes. Para BOTELHO & SILVA (2004), desde o final da década de 1960 a bacia hidrográfica vem sendo usada como a célula básica de análise ambiental, devido ao fato de que dentro deste sistema é possível analisar e avaliar diferentes fatores e processos que interagem neste meio.

CUNHA E GUERRA (2000) descrevem que a bacia hidrográfica é a unidade integradora dos setores naturais e sociais, sendo que mudanças que venham a ocorrer em algum destes setores podem gerar impactos à jusante a nos fluxos energéticos de saída deste sistema. É consenso de ambos os autores que as mudanças ocorridas no interior de uma bacia hidrográfica podem ser resultado da dinâmica natural do ambiente, entretanto, as atividades humanas agem como um acelerador de processos modificadores gerando um desequilíbrio.

O deslocamento e o transporte de sedimentos dependem da forma, tamanho, peso da partícula e das forças exercidas pela ação do escoamento. Quando essas forças se reduzem até a condição de não poderem continuar a deslocar a partícula, ocorre o processo de deposição. Estes depósitos podem ser de pequeno, médio e grande volumes, podem ser também transitórios ou permanentes, como assoreamento (PAULA, 2010).

Desta forma, o planejamento ambiental em bacias hidrográficas pode minimizar ou mesmo evitar a ocorrência de impactos ambientais decorrentes da ação antrópica indiscriminada tendo como objetivo orientar a ocupação humana para que sejam resguardadas áreas destinadas à preservação ambiental, tendo em vista a conservação dos recursos naturais, a forte instabilidade, fragilidade ambiental ou a alta suscetibilidade à erosão, movimentos de massa e inundações que certas porções da paisagem podem apresentar (BOTELHO, 1999).

4.3 GEOPROCESSAMENTO APLICADO AOS RECURSOS HÍDRICOS

O geoprocessamento é toda forma de processar dados espaciais referentes a Terra, sendo que o conhecimento sobre os processos naturais e tecnológicos vêm sendo aprimorado ao longo do tempo para auxiliar na difusão deste tipo de informação. MENDES e CIRILO (2001) definem que o geoprocessamento é parte de um conjunto de tecnologia usadas de forma integrada para auxiliar na representação, simulação, planejamento e gerenciamento do espaço geográfico.

PADILHA (2008) descreve que o geoprocessamento se destaca como uma ferramenta aliada ao desafio de trabalhar com grandes números de variáveis em constante transformação. O processo de tomada de decisão de um planejamento é uma tentativa racional de escolher melhores alternativas, sustentadas tecnicamente pelas informações geradas através dos dados disponíveis e dos modelos adotados, para atingir o objetivo proposto.

O mapeamento temático integrado ao uso de um SIG (Sistema de Informações Geográficas) visa caracterizar e entender a organização do espaço como base para o estabelecimento de ações e estudos futuros. A área de diagnóstico ambiental tem por objetivo estabelecer estudos específicos sobre regiões de interesse tendo em vista projetos de ocupação ou preservação ambiental.

4.4 PROCESSO DE EROÇÃO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

NASCIMENTO & COIADO (2001) colocam que a erosão superficial das bacias hidrográficas desprotegidas provavelmente é a responsável pelo arraste de milhares de toneladas de solos férteis para dentro das calhas dos rios e para os reservatórios. AMORIM (2004) define que a erosão consiste no processo de desprendimento e transporte de partículas do solo, sendo responsável por grandes prejuízos para a exploração agropecuária dos solos, para outros tipos de atividade econômica associadas ao uso da terra e para o meio ambiente. Para MEYER (1971) a erosão é um processo que envolve trabalho, onde a energia para tal é fornecida pelo impacto das gotas de chuva que caem sobre a superfície do solo e pelo fluxo de água que escoam superficialmente sob a ação da gravidade.

COELHO NETO (1998) enumera as atividades humanas que afetam de forma mais significativa o ciclo hidrossedimentológico: (i) desmatamento; (ii) agropecuária;

(iii) urbanização; (iv) mineração; (v) construção de estradas e; (vi) retificação e barramento dos cursos de água. Desta forma, CARVALHO *et al.* (2000) concluem que nos dias atuais a erosão, o transporte de sedimentos e a sedimentação podem causar impactos negativos em termos ambientais e de engenharia. Para LIMA *et al.* (2001) a produção e deposição de sedimentos em uma bacia hidrográfica dependem de suas características naturais: (i) chuvas; (ii) tipos de solo; (iii) topografia; (iv) densidade de drenagem; (v) cobertura vegetal; (vi) área de drenagem e; (vii) influências antrópicas (uso e ocupação do solo, captação de água e alterações nos cursos de água – retificação e barragens).

CARVALHO (2006) cita que a interferência do homem no sistema pode ser tão drástica a ponto de originar o que o autor chama de erosão acelerada ou erosão antrópica, onde dificilmente o ambiente conseguirá se recuperar naturalmente. O autor completa ressaltando que este tipo de erosão é resultado da ocupação do solo por atividades agropecuárias ou urbanização acelerada que induzem a um aumento da ação das variáveis responsáveis pela erosão dos solos. Para BERTONI & LOMBARDI NETO (1990) as condições mais favoráveis ao processo de erosão acontecem em solos sem cobertura vegetal, compactados e recentemente movimentados através do preparo mecanizado (agricultura), que resultam em um aumento na desagregação do solo, redução da capacidade de infiltração (permeabilidade) e, conseqüentemente, aumento do escoamento superficial.

FIGUEREDO (1989) diz que a utilização e manuseio do solo estão diretamente relacionados com as perdas de solo e este processo pode impulsionar a erosão sob diferentes formas (hídrica ou eólica, por exemplo). A desagregação de partículas do solo ocorre devido a energia cinética contida nas gotas de chuva e através do escoamento superficial (UFRA, 2007). Quando o aporte excede a capacidade de transporte ocorre a deposição deste material em locais relativamente mais baixos (depressões naturais do terreno ou reservatórios de água, como rios, lagos, açudes ou represas) concluindo assim o processo erosivo (BRANCO, 1998). Alguns sedimentos são depositados por pouco tempo no leito dos rios até que algum evento (aumento da vazão ou turbulência, por exemplo) ressuspenda esta massa e a coloque novamente em movimento através do canal fluvial (FOSTER, 1982).

4.5 MODELOS PARA AVALIAR EROSÃO

A estimativa da produção de sedimentos em bacias hidrográficas é feita mediante a utilização de modelos computacionais, classificados de acordo com sua estrutura e escala (DE PAIVA, 2001). O autor ainda discorre que a EUPS é a base da maioria dos modelos de estimativa de erosão para pequenas bacias, sendo este um modelo para simular estimativas para médios e longos períodos (meses a anos), enquanto uma variação deste modelo, a EUPSM (Equação Universal de Perdas de Solo Modificada) pode fazer esta avaliação na escala de eventos.

ICOLD (1989) destaca que os seguintes fatores podem afetar a produção de sedimentos ao longo da área de drenagem de uma bacia hidrográfica:

- Quantidade, intensidade e frequência de precipitação;
- Formação geológica e os tipos de solo;
- Cobertura do solo (vegetação, rochas aparentes, solo exposto);
- Uso do solo (diferentes culturas, pastagens, reflorestamento, construção civil, entre outros);
- Topografia e geomorfologia;
- Características da rede de drenagem (densidade, declividade, forma, tamanho e distribuição dos canais);
- Escoamento superficial e;
- Granulometria e mineralogia dos sedimentos.

A EUPS é um modelo concebido para calcular a perda de solo proveniente da erosão laminar e por sulcos, sendo que os processos de deposição, produção de sedimentos por ravinamento, erosão de margens ou de fundo de canais fluviais não são computadas (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

PEREIRA (2002) enumera, entre outras, as principais formas de utilização do modelo EUPS: (i) quantificação de perdas de solo e água; (ii) estimativas e impactos dos processos erosivos; (iii) diagnóstico ambiental; (iv) diagnóstico das formas de uso e ocupação do solo e; (v) simulações de cenários ambientais.

CARVALHO *et al.* (2000) cita que os sedimentos que alcançam o reservatório são originados na área de drenagem contribuinte e são transportados principalmente através da rede principal de canais fluviais. O autor também destaca que a produção de sedimentos depende: (i) da erosão; (ii) do escoamento superficial causado pelas

ação do volume de água precipitado e; (iii) das características de transporte de sedimentos ao longo dos cursos de água.

O tipo de cobertura vegetal interfere no cálculo da suscetibilidade dos tipos de solo ao processo de erosão na medida em que protege o solo reduzindo o impacto das gotas de chuva e o escoamento superficial sobre este. A ocupação adequada do solo deve ser feita de acordo com a capacidade de uso e manejo, sendo que o uso de práticas de conservação auxilia no controle de perdas do solo reduzindo a pressão exercida pelos fatores erosivos sobre ele.

A Tabela 1 apresenta a classificação realizada por ROSS (1994) para alguns tipos de solo de acordo com as suas características de erodibilidade:

Tabela 1– Classes de erodibilidade dos diferentes tipos de solo de acordo com ROSS (1994).

| Classes de Erodibilidade | Tipos de solo |
|---------------------------------|--|
| Muito baixa | Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho-Escuro, Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa |
| Baixa | Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo textura média/argilosa |
| Média | Latossolo Vermelho-Amarelo, Terra Roxa, Terra Bruna, Argissolo Vermelho-Amarelo textura média/argilosa |
| Forte | Argissolo Vermelho-Amarelo textura média/arenosa e Cambissolos |
| Muito forte | Argissolos com cascalhos, Litólicos e Neossolos Quartzarênicos |

ROSS (1994) também apresenta uma classificação de alguns tipos de cobertura vegetal de acordo com o grau de proteção que estes proporcionam aos solos, descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Grau de proteção dos diferentes tipos de uso e cobertura da vegetação de acordo com ROSS (1994).

| Grau de Proteção | Tipo de cobertura da vegetação |
|-------------------------|--|
| Muito baixa / Nula | Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado/gradeação, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplanagens e culturas de ciclo curto sem o uso de práticas de conservação |
| Baixa | Culturas de ciclo longo de baixa densidade (café, pimenta-do-reino, laranja, com solo exposto entre ruas, culturas de ciclo curto (arroz, trigo, feijão, soja, milho, algodão) |
| Média | Cultivo de ciclo longo em curvas de nível / terraceamento (café, laranja, com forrageiras entre ruas), culturas de ciclo curto (arroz, trigo, feijão, soja, milho e algodão) |

| | |
|------------|--|
| Alta | Formações arbustivas naturais com estrato herbáceo denso, formações arbustivas densas (mata secundária, cerrado denso, capoeira densa), mata homogênea de Pinus densa, pastagens cultivadas sem pisoteio de gado e cultivos de ciclo longo (cacau) |
| Muito alta | Florestas, matas naturais, florestas cultivadas com biodiversidade |

5. ÁREA DE ESTUDO

5.1 ASPECTOS GERAIS

O município de Balneário Piçarras (Figura 2) está localizado no litoral centro-norte do Estado de Santa Catarina. As coordenadas geográficas centrais são $26^{\circ}45'36''S$ e $48^{\circ}40'12''W$ (IBGE, 2011) - *Datum* WGS84. A cidade está localizada a cerca de 110 km da capital do Estado, Florianópolis, e possui uma área de aproximadamente 99 km² abrigoando uma população de 17.078 habitantes (IBGE, *Op Cit.*).

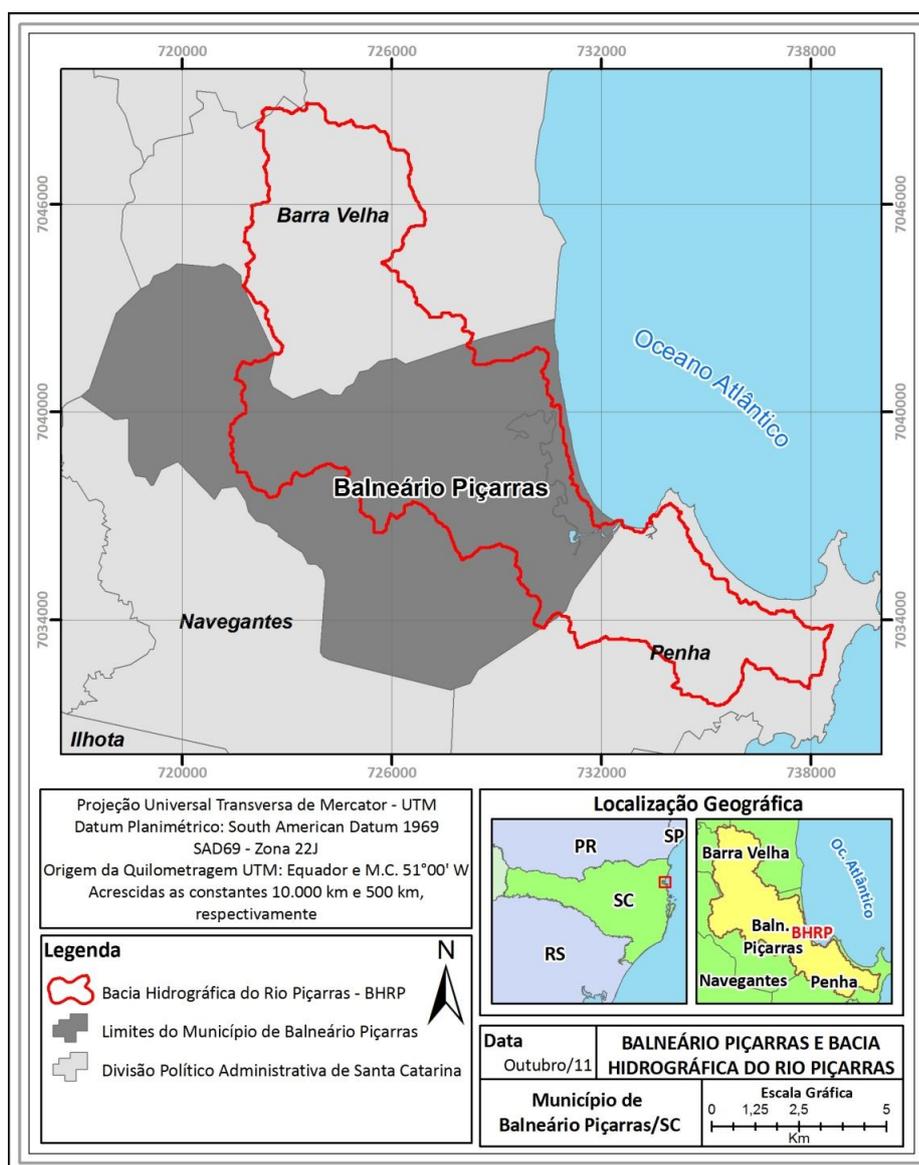


Figura 2 - Localização geográfica do município de Balneário Piçarras (cinza escuro), em Santa Catarina e da bacia hidrográfica do rio Piçarras (em vermelho) delimitada a partir de dados altimétricos da missão SRTM, com 30 metros de resolução espacial.

5.2 PEDOLOGIA

Com relação aos tipos de solos (Figura 3) que formam a região da bacia hidrográfica do rio Piçarras, os solos do tipo Cambissolo apresentam a menor profundidade, pois se encontram em desenvolvimento e são utilizados principalmente para as culturas de milho e feijão, além de servirem também para a criação de áreas de pastagem e reflorestamento (IBGE, 2010). Esta última prática é muito explorada comercialmente por empresas de grande porte situadas na região, sendo que a palmeira real (*Archontophoenix cunninghamii* - australiana) é a principal espécie utilizada para este fim (IBGE, 2010).

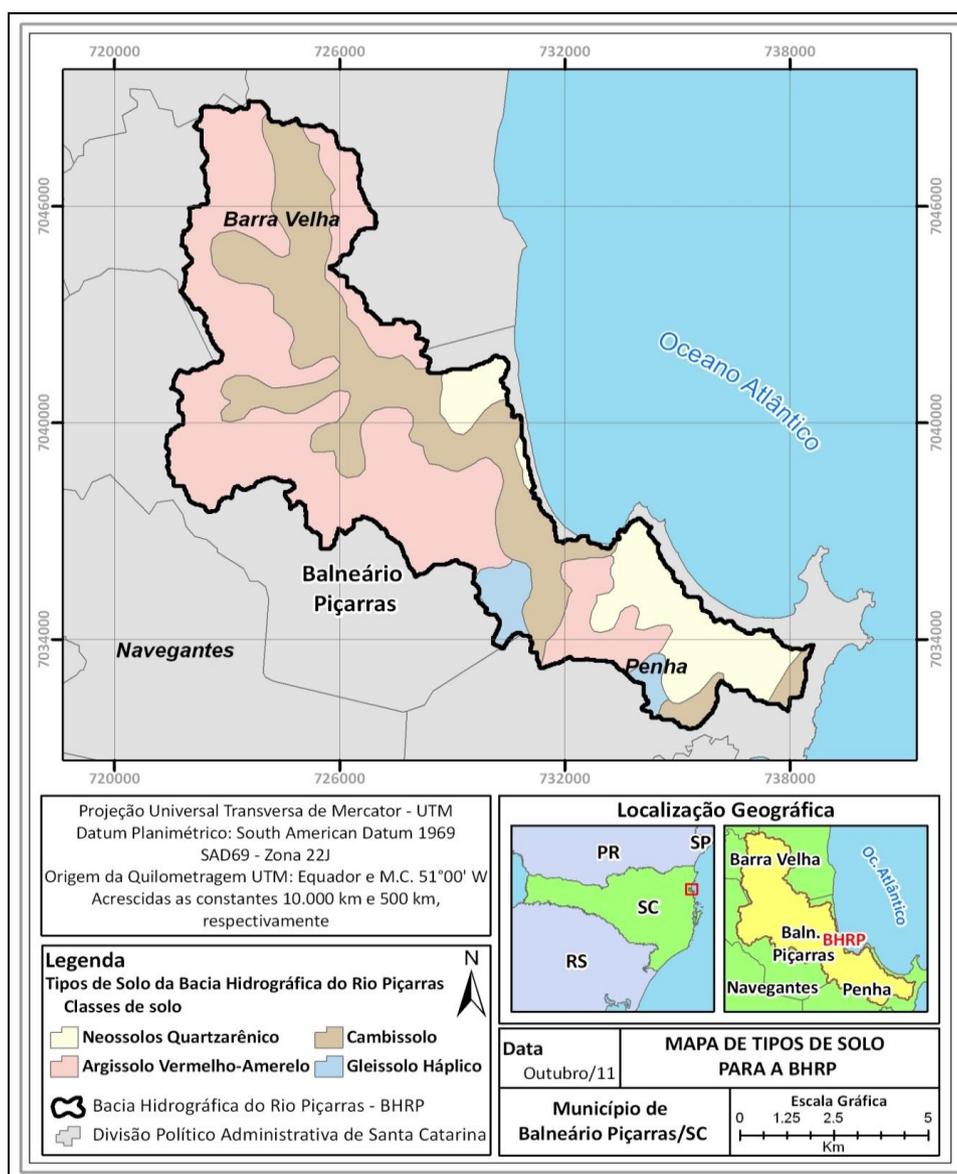


Figura 3 - Tipos de solo para a bacia hidrográfica do rio Piçarras, Mapa elaborado pela EMBRAPA Solos em 1999, em escala 1:250.000.

A EMBRAPA (1999) descreve os solos da região da bacia hidrográfica do rio Piçarras da seguinte forma:

- Argissolo Vermelho-Amarelo: o interior do município de Piçarras é caracterizado pela presença de solos deste tipo, que apresentam características de serem solos profundos e bem drenados utilizados para pastagem e culturas agrícolas;
- Cambissolos: são solos pouco desenvolvidos, que possuem alto teor de minerais primários e de silte mesmo nos horizontes superficiais, fazendo com que tenham a permeabilidade muito baixa;
- Neossolos Quartzarênicos: os agregados são formados por grãos simples compostos de quartzo. Possuem uma fraca estrutura, o que os torna bastante suscetíveis à erosão e com alta permeabilidade e;
- Gleissolo Háptico: estão localizados em áreas de várzea, permitindo que haja acúmulo de água praticamente o ano todo. O lenço freático está quase sempre localizado próximo a superfície. A EMBRAPA ainda sugere que os ambientes onde se encontram esses solos sejam mantidos com o mínimo de interferência antrópica e, preferencialmente, como áreas de preservação permanente.

No Anexo I pode ser visualizado o padrão de cores sugerido pela EMBRAPA para representar os diferentes tipos de solo em cartas ou mapas gerados no *software* ArcGIS, 2ª edição.

5.3 CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO

Na área de estudo se encontram presentes duas unidades geomorfológicas: (i) Serra do Tabuleiro/Itajaí e; (ii) Planícies Litorâneas (GAPLAN, 1986). A serra se estende da porção norte do estado até o sul, sendo que na região de Laguna é caracterizada por serras com orientação NE-SW, que vão perdendo altitude ao se aproximarem do litoral (GAPLAN, 1986).

As Planícies Litorâneas compõem uma estreita faixa localizada a leste do Estado de Santa Catarina e são ambientes deposicionais de sedimentos que evidenciam a dominância de processos eólicos e marinhos neste ambiente (GAPLAN, 1996). FRASSON (2000) descreve no mapa geológico da região de

Penha e Piçarras que a forma como está distribuído o relevo ao longo das Planícies Costeiras facilita a identificação da formação Serras Litorâneas, que por sua vez, definiram o curso natural do rio Piçarras.

5.4 GEOLOGIA

A geologia da região é resultado do projeto denominado MAPEAMENTO GEOLÓGICO DA REGIÃO COSTEIRA DE PENHA E PIÇARRAS - SC, apresentado no Anexo II.

5.4.1 Depósitos Praiais Marinho/Eólicos (Quaternário – Holoceno)

São areias marinhas quartzosas, esbranquiçadas, bem selecionadas e com granulometria variando de fina a média. Os depósitos se encontram parcialmente recobertos por partículas oriundas de sedimentação eólica, que se apresentam na forma de depósitos eólicos ou dunas de pequeno a médio porte.

5.4.2 Depósitos Praiais Marinho/Eólicos (Quaternário – Pleistoceno)

São areais quartzosas marinhas de coloração amarela a avermelhada, granulometria fina a média e com boa maturidade textural e mineralógica. Os terraços marinhos geralmente apresentam estruturas sedimentares do tipo estratificação acanalada e espinha de peixe, bem como a presença de estruturas biogênicas fossilizadas.

5.4.3 Depósitos Paleolagunares (Quaternário – Pleistoceno)

Formados por turfas ou depósitos lamosos ricos em matéria orgânica, geralmente associados à retaguarda dos depósitos praias marinhos pleistocênicos. Se relacionam com antigos corpos aquosos presentes na zona costeira, integrantes de sistemas do tipo laguna-barreira, que secaram durante a fase regressiva marinha do Pleistoceno Superior. Este sistema voltou a ser reestabelecido no auge da transgressão holocênica.

5.4.4 Depósitos de Encostas (Terciário – Quaternário)

São caracterizados pela presença de cascalhos, areias e lamas resultantes da ação de processos de fluxos gravitacionais e aluviais de transporte de material de

alteração das vertentes. O acúmulo de material detrítico forma rampas de colúvio (material mais fino) e tálus (material mais grosseiro) junto à base e à meia-encosta dos morros. São materiais que sofreram transporte por gravidade, por movimento de massa ou escorregamento. São constituídos por materiais de espessura, extensão e granulometria variada, que envolve desde argila até blocos de rocha e matacões, provenientes do embasamento da região.

5.4.5 Depósitos de Planície Colúvio–Aluvionares (Terciário – Quaternário)

Areias e lamas, eventualmente com cascalheiras e depositadas em regiões de baixa declividade (planície flúvio-marinha), formando depósitos de grande extensão e com expressiva presença de material orgânico. Em algumas áreas, pode ser observado o seu interdigitamento com depósitos paleolagunares ou marinho/eólico.

5.4.6 Complexo Granulítico Santa Catarina – (Arqueano)

Composto por gnaisses e outras litologias metamorfizadas na fácies granulito, retromorfizadas ou não, na fácies anfíbolito e xisto-verde. As litologias mais comuns são gnaisses quartzo-feldspáticos, gnaisses calcossilicáticos, kinzigitos, anortozitos, quartzitos e formações ferríferas. Apresentam estruturas gnáissicas foliadas, bandadas e migmatíticas raramente isótropas, em geral miloníticas com forte transposição.

5.5 VEGETAÇÃO

FRASSON (2000) destaca ainda a predominância de uma vegetação denominada de Floresta Ombrófila Densa, como resquícios da presença do bioma Mata Atlântica, juntamente com a presença de uma vegetação secundária e de culturas agrícolas que foram desenvolvidas ao longo da área da bacia hidrográfica. Dentre a vegetação litorânea, representada na região por restinga e manguezais é evidenciada a presença de herbáceas e arbustos (GAPLAN, 1986).

A floresta nativa foi bastante degradada ao longo da bacia hidrográfica do rio Piçarras devido à incorporação de atividades agrícolas ao longo da sua área de

abrangência (FRASSON, 2000). Dentre as práticas agrícolas exercidas, PBDEE (1997) e SUZIN (2004) enfatizam as culturas de arroz, cana-de-açúcar e bovinocultura. A rizicultura é associada com a utilização de agrotóxicos e necessita de uma grande demanda de captação de água, sendo que esta prática, em muitos casos, pode modificar drasticamente a paisagem e o funcionamento do ecossistema em que se encontra inserida. Nas pastagens que substituíram a mata ciliar e se encontram dispostas ao longo de toda a extensão do rio Piçarras, é observada a prática de bovinocultura, principalmente nas regiões situadas a jusante das nascentes deste curso de água (SUZIN, 2004).

5.6 CLIMA

De acordo com a classificação climática de *Köppen* (Figura 4), o clima da região de estudo é denominado mesotérmico úmido com verões quentes (Cfa), com temperatura média anual de aproximadamente 20 °C e pluviosidade acumulada para um ano ficando entre a faixa de 1.600 a 1.800 mm por ano (GAPLAN, 1986). O período mais chuvoso compreende o intervalo entre setembro e março, sendo que durante os meses de outono e inverno, devido à presença de massas polares, o clima é mais constante, sendo eventualmente perturbado pelo encontro de massas tropicais e polares, originando frentes (GAPLAN 1986).

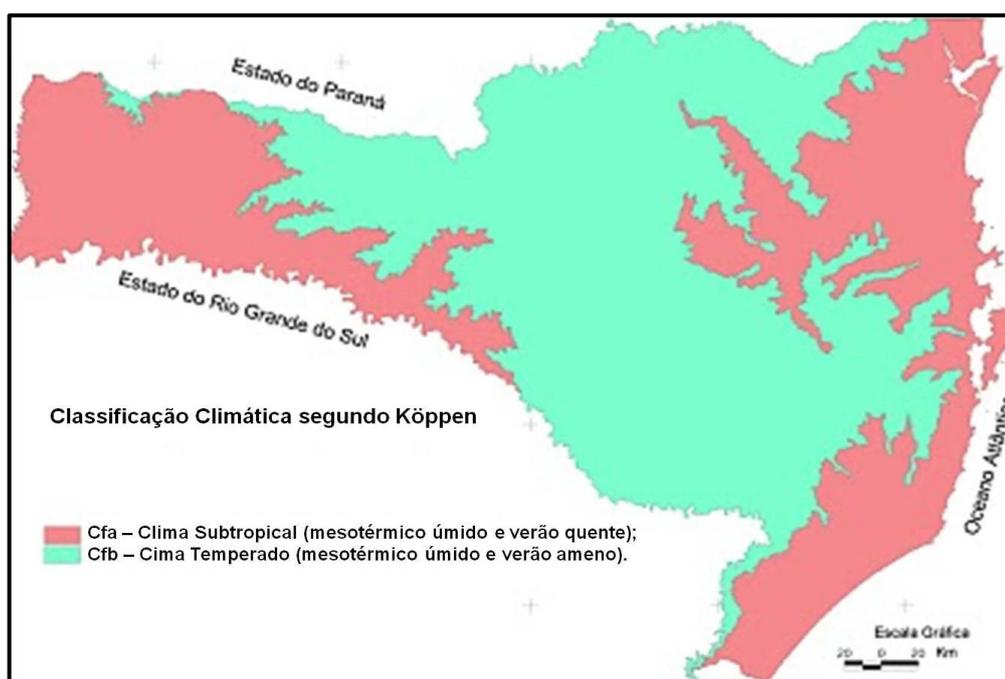


Figura 4 - Classificação climática de *Köppen* do Estado de Santa Catarina (GAPLAN, 1986).

5.7 BACIA HIDROGRÁFICA E DRENAGEM FLUVIAL

A bacia hidrográfica do rio Piçarras abrange uma área de 89,25 km² e o curso de água principal é o rio homônimo, com 14,8 km (FRASSON, 2000) de comprimento. O rio Furado é o afluente da margem direita e suas dimensões são semelhantes às do rio Piçarras (COMITÊ DO ITAJAÍ, 2010). Este sistema está inserido na Região Hidrográfica 07 (RH07 – Região Hidrográfica do Vale do Itajaí) dentro de um sistema de drenagem denominado Vertente Atlântica, ou seja, bacias hidrográficas que drenam e deságuam no Oceano Atlântico, sendo que o comitê do município de Itajaí é o responsável pela gestão dos recursos hídricos da BHRP (COMITE DO ITAJAÍ, 2010).

PBDEE (1997) e HOEFEL (1998) destacam que os cursos de água principais presentes na bacia hidrográfica são definidos como rios de planície e, por serem limitados por cotas inferiores a 200m facilitam a intrusão da cunha salina proveniente do oceano. Este fenômeno em conjunto com a alta taxa de precipitação anual da bacia pode acarretar em inundações e, conseqüentemente, em prejuízos financeiros aos centros urbanos, que se encontram posicionados em regiões adjacentes aos corpos de água e se tornam sujeitos a alagamentos.

Por drenarem antigas regiões paludiais constituídas por sedimentos sítico-argilosos, tanto os rios Piçarras e Furado, bem como o rio Iriri, cuja desembocadura está localizada no extremo sul da enseada, devem transportar basicamente sedimentos finos que tendem a se depositar nas regiões de entorno do exutório (INPH, 1992). Sondagens realizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH, 1992) consideram de pouca importância a contribuição arenosa da bacia hidrográfica para a plataforma interna, devido à natureza sedimentar da região e a pequena área de drenagem que esta abrange.

6. MÉTODOS

No capítulo que segue são descritos os métodos utilizados para definir os limites da Bacia hidrográfica do rio Piçarras e a análise e generalização de alguns parâmetros necessários para atingir os resultados propostos, como a área de abrangência das estações pluviométricas, a definição dos limites físicos da bacia hidrográfica e composição do mapa de uso e ocupação do solo, que foram fundamentais para o cálculo dos fatores que compõe a EUPS.

6.1 DEFINIÇÃO DE ABRANGÊNCIA DA ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

Para a região da abrangência da área de estudo, foi determinado de acordo com polígonos de Thiessen as áreas que apresentam um regime de pluviosidade homogêneo.

Da página eletrônica do SIGEL (Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico) pertencente à ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), foi feito o *download* via *ftp* de todas as estações pluviométricas do Estado de Santa Catarina, em formato *shapefile*. Em ambiente SIG, no *software* ArcGIS® 9.3 foram elaborados polígonos de Thiessen para os pontos correspondentes às estações pluviométricas. Este tipo de abordagem é realizada para criar áreas de domínio de uma estação pluviométrica, conforme a seguinte metodologia (UNICEUB, 1996):

1. Ligar dois pontos adjacentes com um segmento de reta;
2. É traçada a mediatriz deste segmento de reta. Ela servirá como divisória para definir as regiões de domínio (Figura 5);

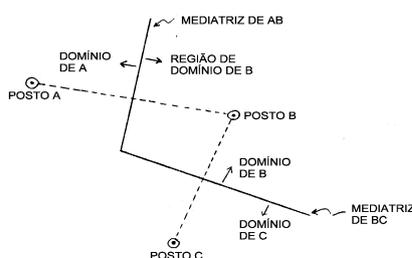


Figura 5 - Definição e traçado da mediatriz.

3. Este procedimento foi adotado inicialmente para um posto qualquer (i.e.: Posto B), para que este seja ligado aos postos adjacentes. Desta forma ficou definido o polígono de abrangência de determinada estação (Figura 6);

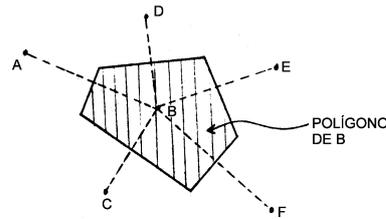


Figura 6 - Determinação do polígono de abrangência da estação pluviométrica.

4. Repetir este procedimento para os outros postos localizados na área de bacia e desconsiderar as áreas de domínio eventualmente definidas em uma região fora dos limites da bacia hidrográfica abordada.

A criação de áreas de domínio estações pluviométricas utilizando polígonos de Thiessen (Figura 6) não leva em consideração a respectiva altitude de cada estação analisada, bem como as configurações de relevo. Deve-se considerar, ainda, que os polígonos delimitados estão diretamente relacionados à densidade de estações existente.

6.2 SÉRIE HISTÓRICA DE PLUVIOSIDADE

Após esta abordagem apresentada no Capítulo 6.1 foi definido que apenas a série histórica de uma estação pluviométrica (Estação #019) seria necessária para representar o regime de chuvas da bacia hidrográfica do rio Piçarras, pois sua área de abrangência de acordo com a Figura 7 compreende toda a área de estudo.

As séries históricas de precipitação são disponibilizadas pelo *HidroWeb* (Sistema de Informações Hidrológicas) da ANA (Agência Nacional de Águas). As informações referentes à descrição da estação estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Descrição da estação pluviométrica da bacia hidrográfica do rio Piçarras.

| Dados da estação pluviométrica de Balneário Piçarras | |
|---|----------------|
| Código | 2648019 |
| Nome | Piçarras |
| Rio | Rio Piçarras |
| Estado | Santa Catarina |
| Município | Piçarras |
| Responsável | ANA |
| Operadora | EPAGRI-SC |
| X UTM* | 718823 |
| Y UTM* | 7038674 |
| Altitude (m) | 10 |
| * : Datum UTM SAD69 - Zona 22J | |

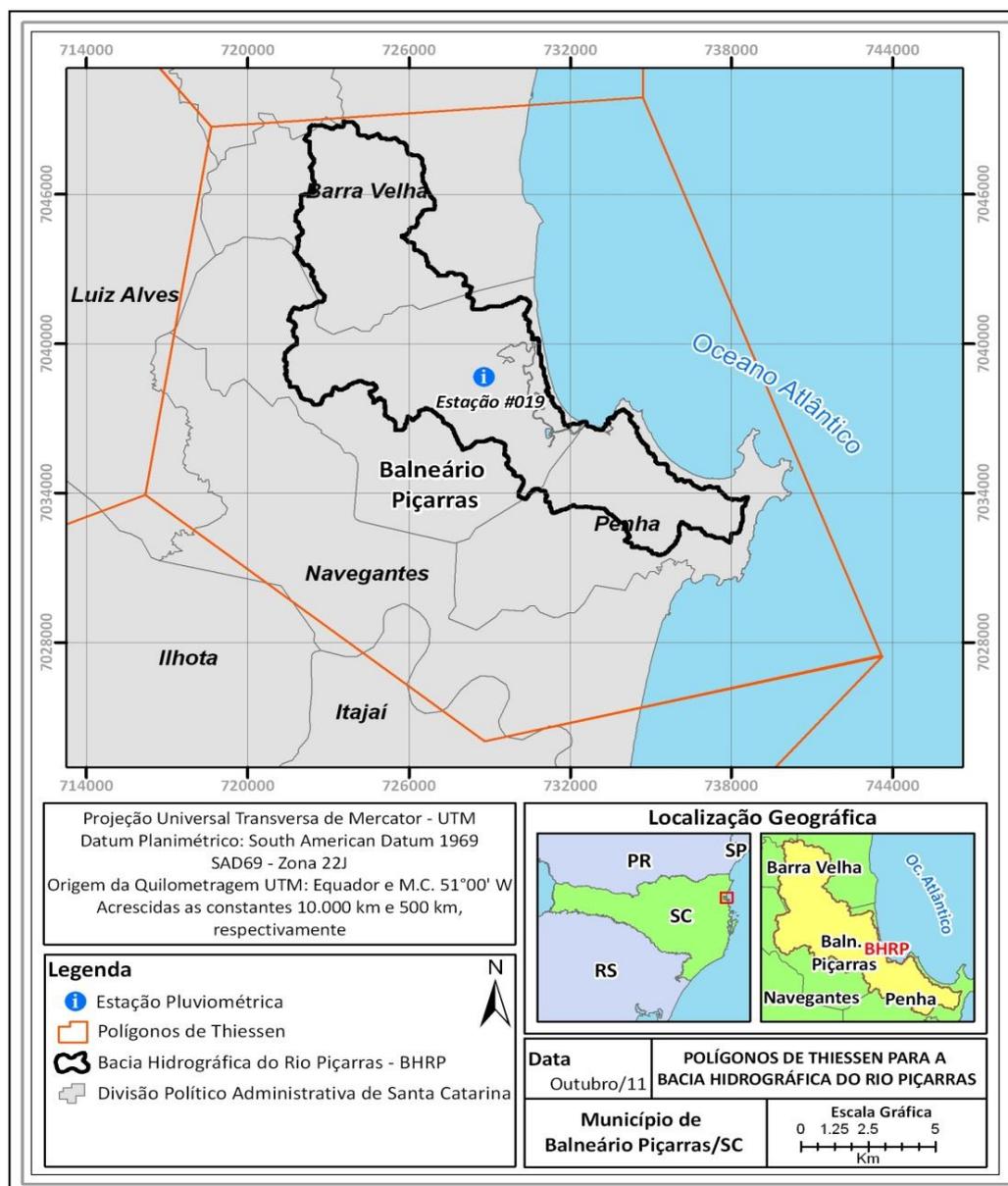


Figura 7 - Área de abrangência da Estação #019 determinada por polígonos Thiessen para a bacia hidrográfica do rio Piçarras.

Desta maneira, foram adquiridos os dados correspondentes a precipitação diária entre os anos de 2001 a 2009. Os dados faltantes ou inexistentes foram preenchidos automaticamente pelo simulador de precipitação *pcpSTAT*, usado para calcular os parâmetros estatísticos de precipitação diária.

6.3 DISCRETIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA E DOS CURSOS DE ÁGUA

Para delimitar a área de drenagem e os cursos de água da bacia hidrográfica foram utilizados o MDE (Modelo Digital de Elevação) e técnicas de geoprocessamento para correção do modelo (preenchimento de falhas e georreferenciamento).

Para definir a área de abrangência da bacia hidrográfica diante das metodologias existentes e possíveis de serem adotadas, optou-se pela utilização da rotina *Subwatershed discretization*, inserida no modelo SWAT. NEITSCH *et al.* (2005) descrevem que esta rotina cria sub-bacias baseado nas características topográficas do terreno, preservando assim, os canais naturais e o caminho do fluxo.

Esta rotina utiliza o MDE (Modelo Digital de Elevação) para definir as bordas e limites da bacia hidrográfica (divisor topográfico) e as linhas d'água (divisores das sub-bacias), sendo que fica a cargo do usuário definir o ponto ou os pontos onde os rios encontram o oceano (exutório). Neste caso, dois pontos foram inseridos nos cursos de água gerados pelo modelo para definir os pontos finais da bacia hidrográfica: (i) um ponto referente ao exutório do rio Piçarras e; (ii) outro referente ao rio Iriri (Figura 8). A linha de costa utilizada para guiar este procedimento foi retirada da base de dados da EPAGRI/CIRAM, na Mapoteca Digital, onde estão presentes dados de um mapeamento executado na escala 1:50.000 para parte do Estado de Santa Catarina.

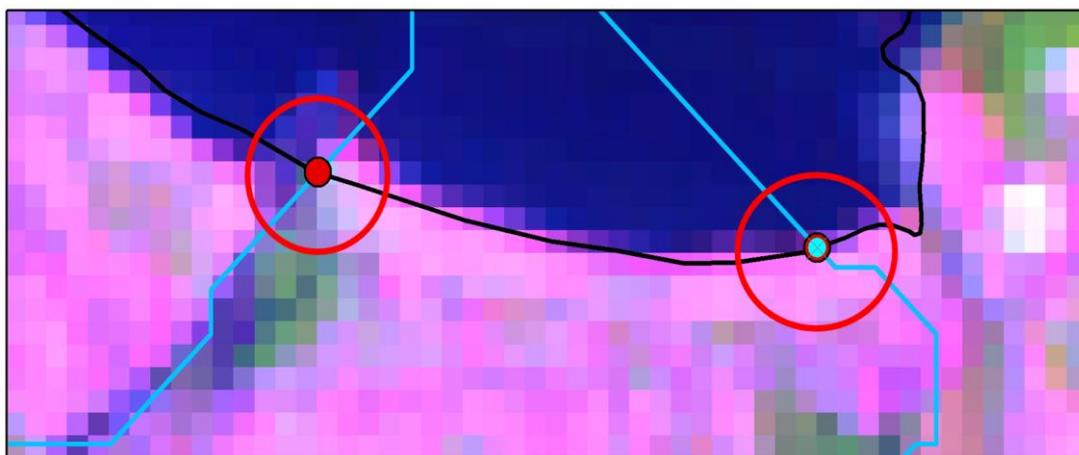


Figura 8 - Exemplo da inserção dos exutórios no modelo SWAT (em destaque - vermelho). Em preto é apresentada a linha de costa (1:50.000) e em azul os cursos de água gerados pelo modelo a partir do MDE inseridos sobre uma imagem Landsat 5 – TM (2010) da área de estudo.

6.4 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE)

O modelo utilizado neste trabalho para representar a altimetria foi obtido pelo projeto SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), que foi uma missão realizada a partir de uma cooperação entre a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e a NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*), o DoD (*Department of Defense*) dos Estados Unidos e das agências espaciais da Itália e da Alemanha.

No Brasil, estes dados são disponibilizados pelo Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA). Este projeto oferece dados topográficos (30m de resolução espacial) e suas derivações básicas em cobertura nacional, elaborados com os dados SRTM disponibilizados pela USGS (*United States Geological Survey*) em meados de 2003, para a América do Sul (MIRANDA, 2012).

Após o *download*, foi feito um mosaico com as duas imagens e criada uma máscara abrangendo a área de estudo, para recortar o mosaico e trabalhar apenas com a área requerida.

O resultado final do processamento do modelo digital de elevação (Figura 9) gerou um arquivo *raster* com resolução espacial de 30 m, onde cada célula representa uma área de 900 m². Este foi reprojeto para UTM (Universal Transversa de Mercator) utilizando o *datum* planimétrico SAD69, Zona 22J e, o *datum* altimétrico do marégrafo de Imbituba. A resolução do MDE é equivalente a resolução dos outros planos de informação que foram usados como dado de entrada na modelagem (uso e ocupação do solo e tipos de solo).

O relatório topográfico indicou que a elevação mínima da bacia do Rio Piçarras encontrada é de 2 m enquanto a elevação máxima foi de 262,3m, com uma média de 30,84m e um desvio padrão de 30,31m. A Tabela 4 apresenta as classes de altitude da bacia hidrográfica do rio Piçarras e a área ocupada por cada uma destas classes. Cerca de 70% da bacia hidrográfica apresenta altitudes que variam entre 10 e 100m. É importante ressaltar a área plana, onde está inserida aproximadamente 46% da área total da bacia hidrográfica, que apresenta cotas entre 2 e 20m.

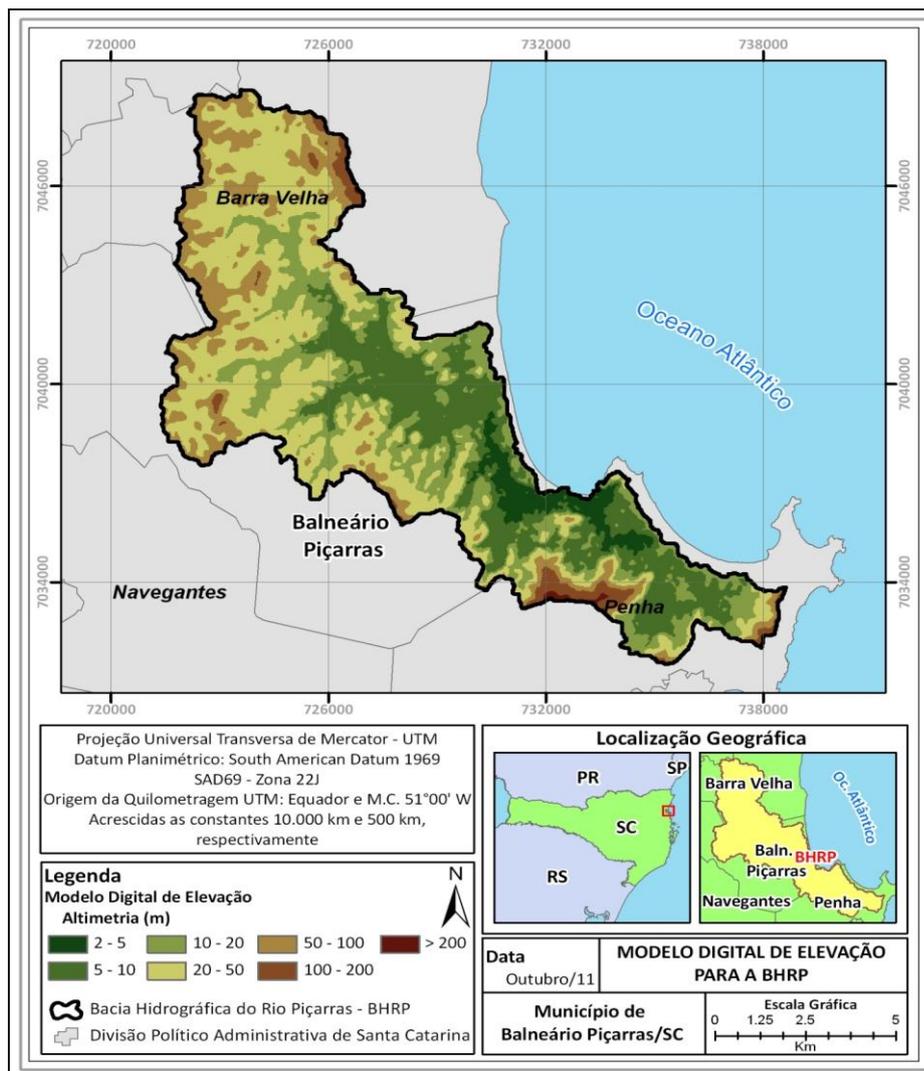


Figura 9 - Mapa de hipsometria para a bacia hidrográfica do rio Piçarras (MDE SRTM).

Tabela 4 – Classes de altitude e área que cada classe definida representa na Bacia hidrográfica do rio Piçarras.

| Classe Altitude (m) | Área (Km ²) |
|---------------------|-------------------------|
| 2 a 5 | 3,94 |
| 5 a 10 | 20,86 |
| 10 a 20 | 20,53 |
| 20 a 50 | 34,74 |
| 50 a 100 | 15,11 |
| 100 a 200 | 2,91 |
| > 200 | 0,31 |

6.5 MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O mapa de uso e ocupação do solo para o ano de 2010 foi elaborado a partir de uma classificação supervisionada realizada sobre uma imagem do satélite

Landsat 5 - TM, disponibilizada gratuitamente pela Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DGI/INPE). O satélite opera desde 1984, a 705 km de altitude em um plano de órbita equatorial. Produz imagens com 185 km de largura no terreno, com resolução espacial de 30 m (exceto a Banda 6 – Infravermelho Termal – com resolução espacial de 120 m) e resolução temporal (tempo de revisita) de 16 dias.

A imagem utilizada foi a seguinte:

- Landsat 5-TM, órbita 220, ponto 78, de 17/10/2010.

A classificação supervisionada é utilizada para reconhecer os padrões espectrais dos *pixels* existentes em uma imagem mediante uma amostragem (área de treinamento) que é fornecida ao algoritmo de classificação (neste caso, o *Maximum Likelihood Classification*) do software ENVI 4.7 (MOREIRA, 2003). MOREIRA (*Op. Cit.*) descreve que após o processo de amostragem esta rotina realiza cálculos específicos de equiprobabilidade para adequar os *pixels* desconhecidos e não classificados às classes definidas pelo usuário.

Neste classificador a distribuição dos valores de reflectância é descrita por uma função de probabilidade que avalia a possibilidade de um determinado *pixel* pertencer a uma categoria e, classifica este *pixel* para uma categoria à qual ele tem maior probabilidade de associação. EASTMAN (1999) cita que o grande problema deste classificador é obter amostras de *pixels* puros, representativos de cada classe espectral. Entretanto, sabe-se que a resposta espectral de um alvo varia ao longo do terreno e pode ser mascarada pela resposta de outro alvo das proximidades.

Antes de iniciar o procedimento, o usuário deve ter definido as classes em que deseja classificar a imagem. Os *softwares* de processamento de imagens permitem que o usuário aplique sobre a imagem a ser classificada em uma fase de pré-processamento filtros de realce e contraste, para melhorar a acurácia visual para a obtenção de amostras realmente significativas a cada classe de uso e ocupação do solo requerida.

É importante que o usuário tenha um conhecimento prévio da região que está sendo classificada para auxiliar na tomada de decisão no momento em que este tiver que criar as amostras de treinamento. Caso isso não seja possível é recomendado que primeiro seja gerada uma imagem a partir de uma classificação

não supervisionada, para análise prévia da área de estudo, ou até mesmo o auxílio de outras tecnologias para análise do terreno, como os serviços disponibilizados pelo Google Earth® ou Bing Maps®.

Após a aplicação do algoritmo de classificação os resultados são submetidos à fase de pós-processamento. O *software* permite que o usuário edite manualmente as classes geradas. Desta forma, alguns *pixels* ou regiões que foram classificadas de forma equivocada devido a proximidade do valor de assinatura espectral dos *pixels* que as compõe podem ser reclassificados e aferidos as classes corretas.

Desta forma, fica evidente que um bom conhecimento da área de estudo por parte do usuário são essenciais para otimizar os resultados da classificação, auxiliando na separação de classes semelhantes na imagem Landsat, usada neste caso, como agricultura e pastagem. Ao resultado destes procedimentos pode ainda aplicado um filtro denominado *Majority Filter*, que recoloca os *pixels* em determinadas classes baseados em algoritmos que levam em consideração os valores dos *pixels* vizinhos. O filtro serve para homogeneizar o resultado final, dando certa continuidade às classes que foram definidas pelo usuário durante o processo de classificação.

As classes a serem separadas para a imagem de 2010 durante o processo de classificação supervisionada foram: agricultura, mata/floresta, urbano, água/rio, pastagem e rodovia.

Os passos utilizados para obter os resultados finais a partir da classificação supervisionada foram executados de acordo com o fluxograma da Figura 10, sendo que neste caso, as 6 bandas foram utilizadas para efetuar a classificação final, aonde as composições geradas são efetuadas para auxiliar o usuário na identificação mais clara dos alvos a serem classificados:

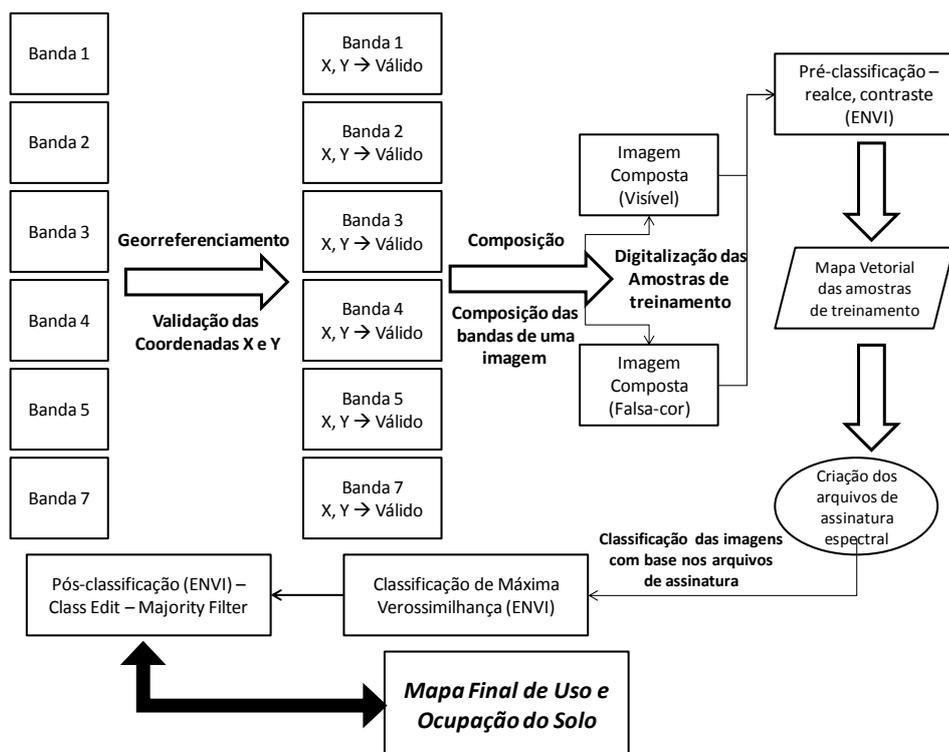


Figura 10 - Fluxograma das etapas de funcionamento e aplicação da classificação supervisionada (LABGIS, 2010).

O mapa de uso e ocupação do solo da imagem do ano de 2010 foi validado com o índice Kappa, que é uma medida de concordância usada para medir o quanto as observações realizadas se afastam das observações esperadas, fruto do acaso, indicando assim a legitimidade destas interpretações (LANDIS & KOCH, 1977).

Os mesmos autores criaram ainda uma tabela para avaliar de forma descritiva o valor do índice encontrado (Tabela 5):

Tabela 5 - Tabela elaborada por LANDIS & KOCH (1977) para avaliar a qualidade do valor do índice Kappa encontrado após a classificação supervisionada.

| Valor de Kappa | Qualidade da classificação |
|----------------|----------------------------|
| < 0 | Péssima |
| 0 - 0,2 | Ruim |
| 0,2 - 0,4 | Razoável |
| 0,4 - 0,6 | Boa |
| 0,6 - 0,8 | Muito boa |
| 0,8 - 1,0 | Excelente |

A ideia é que sejam gerados pontos sobre as classes geradas a partir da aplicação do algoritmo classificador (Máxima Verossimilhança), num total de 10 pontos por classe e que estes pontos sejam comparados com o uso e ocupação de

solo visíveis em uma imagem de satélite de alta resolução. Com base na espacialização destes pontos sobre as imagens de satélite correspondentes ao ano em que o mapa foi gerado, será gerada uma matriz de confusão e finalmente o cálculo do índice Kappa.

6.6 FATOR R (EROSIVIDADE DA CHUVA)

O Fator R de erosividade da chuva expressa a capacidade da chuva, ao entrar em contato direto com uma área descoberta, de causar erosão (WISCHMEIER & SMITH, 1962). A energia cinética das gotas de chuva que chegam até o solo é um agente que contribui para o processo de erosão de pelo menos três maneiras distintas (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990):

- Desprendendo partículas do solo no local onde ocorre o impacto;
- Transportam as partículas desprendidas, por salpicamento e;
- Imprimem energia ao escoamento superficial, na forma de turbulência.

Esta interação pode resultar em um maior ou menor grau de destacamento e transporte das partículas de acordo com a quantidade de energia resultante do impacto da gota de água no solo (*splash*), dependente da intensidade da chuva levando em consideração um mesmo tipo de solo, topografia e uso e manejo do solo (GUERRA, 1998).

RENARD & FREIMUND (1994) descrevem a seguinte equação, conhecida como o Índice de Fourier, também aplicada por MELLO *et al.* (2007) e BESKOW *et al.* (2009), para estimar a erosividade da chuva mensal (Equação 1):

$$EI_i = \frac{125,92 \cdot \left(\frac{r^2}{P}\right)^{0,603} + 111,173 \cdot \left(\frac{r^2}{P}\right)^{0,691} + 68,73 \cdot \left(\frac{r^2}{P}\right)^{0,841}}{3} \quad \text{(Equação 1)}$$

onde:

- EI_i** = Média mensal do índice de erosividade ($\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{mês}^{-1}$);
 r = Total de precipitação mensal (mm) e;
 P = Total de precipitação anual (mm).

Desta forma, o Fator R de erosividade da chuva é obtido pela soma dos valores mensais do índice de erosividade para cada uma das estações pluviométricas submetidas a este tipo de abordagem, de acordo com a Equação 2:

$$R = \sum EI_i \quad \text{(Equação 2)}$$

Neste trabalho foi utilizada apenas uma estação pluviométrica localizada na cidade de Balneário Piçarras (Código 02648019 – Agência Nacional de Águas) com uma série histórica diária de 29 anos, abrangendo todo o período que pretende ser estudado (1981 a 2009). Os valores mensais de pluviosidade obtidos pela soma dos valores diários da série foram transformados no índice EI_i e posteriormente em valores de 'R', seguindo as formulações anteriores.

Um valor de 'R' foi considerado representativo para toda a área da bacia hidrográfica, de acordo com os Polígonos de Thiessen elaborados para a região, mostraram que a área de abrangência da estação pluviométrica escolhida cobre toda a área da bacia hidrográfica.

6.7 FATOR K (ERODIBILIDADE DO SOLO)

WISCHMEIER & SMITH (1978) determinaram que diferentes tipos de solo possuem propriedades peculiares de resposta a erosão, mesmo que todos os outros fatores (uso e ocupação do solo, práticas de conservação ou declividade) permaneçam constantes. O Fator K representa a taxa de perdas do solo por unidade do índice de erosividade da chuva (Fator R) para um tipo de solo específico, em uma área limpa e livre de cultivo com declividade de 9% (RENARD *et al.*, 1997). WISCHMEIER & SMITH (*Op. Cit.*) definiram que as propriedades do solo que influenciam na erodibilidade são aquelas que afetam a velocidade de infiltração: (i) permeabilidade e; (ii) capacidade total de armazenamento de água – e aquelas que resistem às forças de dispersão, salpicamento, abrasão, transporte pela chuva e pelo escoamento superficial.

Para este trabalho não foi planejada nenhuma coleta de amostras de solos presentes na bacia hidrográfica para extrair as variáveis necessárias para a obtenção dos valores do Fator K. BESKOW *et al.* (2009) afirmam que as estimativas do Fator K normalmente são realizadas a partir do nomograma de WISCHMEIER & SMITH (*Op. Cit.*) e que as campanhas de campo para estimar esta variável são caras e exigem bastante tempo e conhecimento dos pesquisadores envolvidos.

Assim, os valores do Fator K foram extraídos de outros trabalhos efetuados em diferentes áreas do Brasil e os valores encontrados para os mesmos tipos de solo presentes na Bacia hidrográfica do rio Piçarras foram reproduzidos para a região. O mapa de solos utilizado para descrever os tipos de solo da área de estudo

foi idealizado a partir de um levantamento sistemático do território catarinense denominado “Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado de Santa Catarina”, publicado em 1999 pela EMBRAPA (EMBRAPA, 1999), em formato *shapefile* na escala 1:250.000.

6.8 FATOR LS (FATOR TOPOGRÁFICO)

Para WISCHMEIER & SMITH (1978), o comprimento de rampa (Fator L) é a distância do ponto de origem do caimento da água até o ponto em que ela reduz sua velocidade de escoamento e causa deposição de sedimentos em vertentes junto a vales, rupturas ou até mesmo quando encontra o canal principal. O fator de declividade (Fator S) é tido como o ângulo ou índice de inclinação do terreno e é um indicativo da aceleração e do aumento do potencial erosivo do escoamento superficial (WISCHMEIER & SMITH, 1978). A união destes fatores (Fator LS), de acordo com RENARD *et al.* (1997), considera o efeito da topografia frente aos processos erosivos e é um parâmetro essencial para quantificar a erosão gerada pela influência do escoamento superficial.

O Modelo Digital de Elevação utilizado neste trabalho é oriundo da missão denominada SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), já descrito anteriormente. Assim foi possível calcular um mapa de declividade em ambiente SIG, sendo que o algoritmo utilizado leva em consideração uma malha de 3 x 3 *pixels* e realiza o cálculo do valor da célula central com base na técnica de média máxima (ESRI, 2011; BURROUGH & MCDONELL, 1998). BESKOW *et al.* (2009) descrevem que os dados disponíveis para o território brasileiro, com resolução espacial de 30 m causam uma sobre-estimativa do Fator S e das perdas de solo em alguns pontos da bacia hidrográfica, entretanto, ressalta que não é comum MDEs com maior resolução espacial disponíveis gratuitamente para o Brasil.

Sendo assim, o Fator L pode ser calculado de acordo com a Equação 3 (JAIN *et al.*, 2001, BESKOW *et al.*, 2009):

$$L_{(i,j)} = \left(\frac{\lambda}{22,13} \right)^m \quad \text{(Equação 3)}$$

onde:

$L_{(i,j)}$ = Fator de comprimento da vertente para uma célula com coordenadas (i,j);

λ = comprimento do declive em campo (sem a unidade métrica);

m = coeficiente de declividade de acordo com a % do declive que assume o valor de: 0,2 para declividade < 1%; 0,3 para declividade entre 1 e 3%; 0,4 para declividade entre 3 e 5% e; 0,5 para declividade > 5%.

Para a variável de comprimento de declive em campo (λ) foi utilizado o valor de 30 m, que é igual à resolução espacial do MDE, bem como foi utilizado em outros estudos desta natureza (JAIN *et al.*, 2001, DABRAL *et al.*, 2008; BESKOW *et al.*, 2009).

O Fator S foi calculado por DABRAL *et al.* (2008) de acordo com a seguinte formulação (Equação 4 e Equação 5):

$$S = 10,8 \times \text{seno}(\theta) + 0.03 \quad \text{para declividade} < 9\% \quad \text{(Equação 4)}$$

$$S = 16,8 \times \text{seno}(\theta) - 0.50 \quad \text{para declividade} \geq 9\% \quad \text{(Equação 5)}$$

onde:

S = Fator de declividade (adimensional);

θ = ângulo do declive (graus).

As classes de declividade são apresentadas de acordo com as categorias definidas pela EMBRAPA (1995), sendo que a empresa define que áreas com declividades maiores que 20% estão suscetíveis ao maior risco erosivo por causa da proximidade de encostas, dependendo também do tipo de ocupação e dos solos presentes na região.

6.9 FATOR CP (USO E MANEJO DO SOLO E PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS)

O fator de uso e manejo (Fator C) expressa a influência da cobertura da vegetação e das práticas de cultivo nas perdas de solo (WISCHMEIER & SMITH, 1978). É uma relação entre uma área com um determinado uso e manejo com uma área descoberta e livre de cultivo sob as mesmas condições de declividade e tipo de solo variando de zero a um, sendo zero em sistemas de cultivo conservacionistas e um em sistemas de cultivo não conservacionistas (PROCHNOW *et al.*, 2005).

Já o Fator P se refere às práticas de manejo do solo voltadas para a sua conservação e é diretamente relacionado com a declividade da área. É uma relação entre a quantidade esperada de erosão com uma determinada prática de

conservação e esta mesma prática cultivada no sentido do declive (morro abaixo) (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990). De forma conjunta, o Fator CP expressa a relação existente entre as perdas de solo esperadas em áreas cultivadas e vegetadas com áreas livres e descobertas (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

Para a confecção do mapa de uso e ocupação do solo referente ao período requerido pelo estudo foram utilizadas imagens do satélite Landsat 5 - TM, descritas anteriormente. A classificação supervisionada é utilizada para reconhecer os padrões espectrais dos *pixels* existentes em uma imagem mediante uma amostragem (área de treinamento) que é fornecida ao algoritmo de classificação (neste caso, o *Maximum Likelihood Classification*) (MOREIRA, 2003).

O mapa com os valores do Fator C foi elaborado com base nos valores propostos por outros autores para o território brasileiro (TOMAZONI & GUIMARÃES, 2005; RUHOFF *et al.*, 2006; OLIVEIRA *et al.*, 2007) sendo que os valores foram aferidos às classes de uso e ocupação do solo definidas nos mapas apresentados nos resultados (Tabela 6).

Tabela 6 - Classes de uso e ocupação da bacia hidrográfica do rio Piçarras (Imagem Landsat 5 – TM de 2010). área (m²), frequência relativa (%) e respectivos valores do Fator C para cada classe definida.

| Fator C (Uso e manejo do solo) | | | |
|---------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Classe de uso do solo | Área (m²) | Frequência relativa (%) | Fator C (adimensional) |
| Agricultura | 41.180.000 | 41.69 | 0.2900 |
| Floresta/Mata | 29.960.000 | 30.33 | 0.0100 |
| Urbanização | 15.420.000 | 15.61 | 0.0000 |
| Rio/Água | 300.000 | 0.30 | 0.0000 |
| Pastagem | 11.450.000 | 11.59 | 0.0075 |
| Rodovia | 470.000 | 0.48 | 0.0000 |

Em geral, sempre que o solo é inclinado e é utilizado como uma área de cultivo, a ação de chuvas poderá causar grande erosão, a não ser que estas culturas sejam apoiadas por algum tipo de prática visando retardar o fluxo de água e assim, reduzir a quantidade de solos passível de ser carregada com a enxurrada. Uma prática muito importante que é utilizada é denominada lavoura de contorno, onde são construídas hidrovias ao lado das lavouras, visando eliminar o excesso de chuva (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

Por definição, o fator P (práticas conservacionistas) é a razão da perda de solos com um apoio específico de uma prática de conservação a sua

correspondente perda caso fosse um plantio morro acima ou morro abaixo. O valor de P foi definido como sendo 1,0 para toda a área, uma vez que não se tem conhecimento sobre práticas conservacionistas que sejam aplicadas na região de estudo.

6.10 EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DO SOLO (EUPS)

A formulação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) em 1954 pela *National Runoff and Soil Loss Data Center (Agricultural Research Service)* em colaboração com a Universidade de Perdue (EUA) foi revisada por WISCHMEIER & SMITH (1978) e se tornou um dos modelos empíricos mais tradicionais, aceito e utilizado para a predição de perdas de solo por erosão laminar. SILVA *et al.* (2004) e FARINASSO *et al.* (2006) destacam a maior divulgação dos estudos associados a perdas de solo, a facilidade do manejo dos dados e os baixos custos (computacional e financeiro) para atingir os resultados.

A equação é apresentada da seguinte maneira:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

onde:

A = Perdas de solo (ton/ha.ano);

R = Fator de erosividade da chuva (Fator R - em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹);

K = Fator de erodibilidade do solo (Fator K - em t h MJ⁻¹ mm⁻¹);

L = Fator de comprimento de rampa (Fator L - adimensional);

S = Fator do gradiente de declividade (Fator S - adimensional);

C = Fator de cobertura superficial e uso e manejo do solo (Fator C - adimensional);

P = Fator de práticas conservacionistas (Fator P - adimensional).

STEIN *et al.* (1987) afirmam que a equação foi criada para a aplicação em pequenas áreas de clima temperado. A partir da formulação da EUPS foram desenvolvidos alguns modelos de predição de perdas de solo, como por exemplo: AGNPS (YOUNG *et al.*, 1987; GASSMAN *et al.*, 2007).

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 FATOR R (EROSIVIDADE DA CHUVA)

A Tabela 7 apresenta os valores do Fator R calculados aplicando a equação sugerida por RENARD & FREIMUND (1994) para os registros pluviométricos diários da BHRP entre os anos de 2001 a 2009. Os valores calculados do Fator R para a estação pluviométrica analisada variaram de 5.761,84 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (2001) a 11.352,02 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (2008), sendo que a média para os nove anos analisados foi de 7.663,63 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ e o desvio padrão de 2.013,96 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹.

Tabela 7 - Fator R de erosividade da chuvas para cada ano (2001 a 2009) analisado na bacia hidrográfica do rio Piçarras e a média.

| Ano | Fator R |
|--------------|-----------------|
| 2001 | 5.761,84 |
| 2002 | 6.199,49 |
| 2003 | 7.345,21 |
| 2004 | 6.785,16 |
| 2005 | 7.383,89 |
| 2006 | 6.047,57 |
| 2007 | 7.362,96 |
| 2008 | 11.352,02 |
| 2009 | 10.734,49 |
| Média | 7.663,63 |

Os valores de EI_{30} são calculados de acordo com o total acumulado de chuva para cada mês e o somatório dos doze meses de um determinado ano é correspondente ao fator de erosividade (Fator R). Para a cidade de Rio Negrinho e regiões adjacentes, no centro do Estado de Santa Catarina, CECCHIA *et al.* (2006) encontraram valores médios de 7.092,77 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, colocando que o alto valor de erosividade encontrado indica que ele é de importância fundamental para o planejamento de atividades agrícolas, drenagem de estradas rurais e demais formas de uso do solo.

A Figura 11 apresenta a distribuição da precipitação ao longo do tempo, caracterizando cada um dos anos dentro dos intervalos de quantis definidos. A análise abaixo apresenta também as linhas médias que definem os limites do

Q(0,15) - muito seco e do Q(0,85) - muito chuvoso, além do Q(0,50), que representa a mediana da série temporal analisada. Fica evidenciado claramente que o ano de 1983, quando ocorreu uma das maiores catástrofes naturais do Estado de Santa Catarina, foi um período extremamente chuvoso (muito além dos limites estabelecidos ou Q(0,85)), bem como podem ser destacados também os últimos dois anos analisados (2008 e 2009), onde as fortes chuvas também causaram grandes estragos nas cidades do litoral centro-norte do Estado. Destaca-se na última década (2000 - 2009) a presença de dois anos seguidos com extremos de seca (2000 e 2001) e dois anos seguidos com extremos de chuva (2008 e 2009), que foi algo inédito que ocorreu no decorrer das outras duas décadas também analisadas.

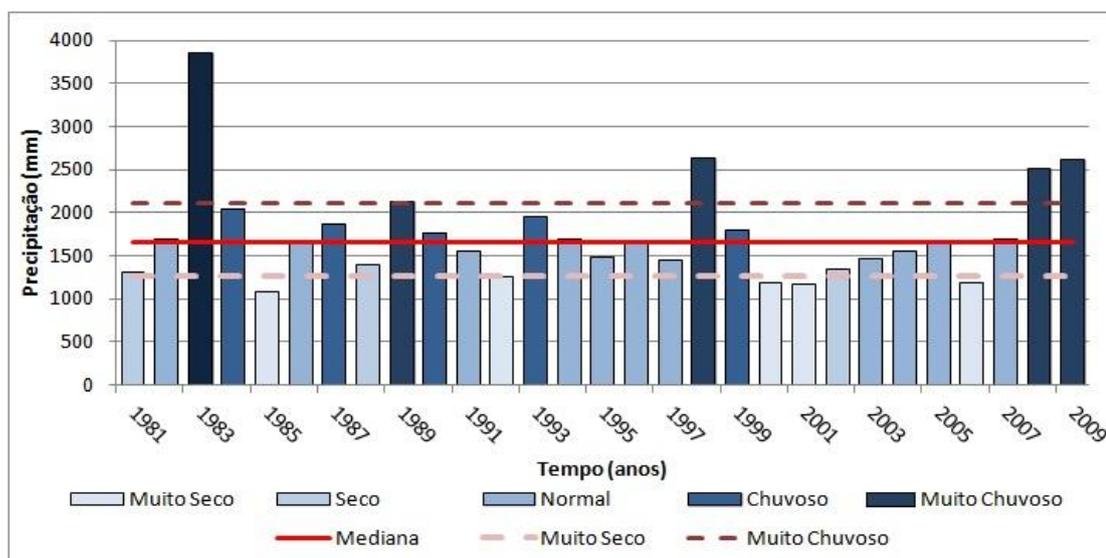


Figura 11 - Evolução temporal da precipitação nos intervalos de quantis determinados de acordo com a metodologia proposta por XAVIER & XAVIER (1984), a linha da mediana e dos extremos de seca e chuva.

7.2 FATOR K (ERODIBILIDADE DO SOLO)

A Tabela 8 mostra os valores do Fator K de erodibilidade dos solos definidos segundo levantamento bibliográfico para a bacia hidrográfica do rio Piçarras, além de discriminar os diferentes tipos de solo encontrados na área de estudo. A nomenclatura antiga foi modificada (EMBRAPA, 1999) definindo uma nova classificação para os tipos de solo, também apresentadas.

MANNIGEL *et al.* (2002) definiram ainda valores de tolerância à erosão (volume de solos erodidos sob condições naturais) para os tipos de solo do Estado de São Paulo, sendo que os valores para os solos presentes na BHRP são:

Neossolo Quartzarênico - 14,7 ton/ha; Cambissolo Háplico - 11,62 ton/ha; Gleissolo Háplico - 5,82 ton/ha e; Argissolo Vermelho-Amarelo - 9,06 ton/ha.

Tabela 8 - Tipos de solo, nomenclatura atual a valores de erodibilidade do solo (Fator K) para a Bacia hidrográfica do rio Piçarras.

| Nomenclatura Atual (EMBRAPA, 1999) | Fator K (ton ha MJ ⁻¹ mm ⁻¹) |
|------------------------------------|---|
| Neossolo Quartzarênico | 0,1448 |
| Cambissolo Háplico | 0,0441 |
| Gleissolo Háplico | 0,0044 |
| Argissolo Vermelho-Amarelo | 0,0466 |

O mapa da Figura 12 apresenta os valores de K espacializados de acordo com a distribuição dos quatro tipos de solo presentes na área de estudo.

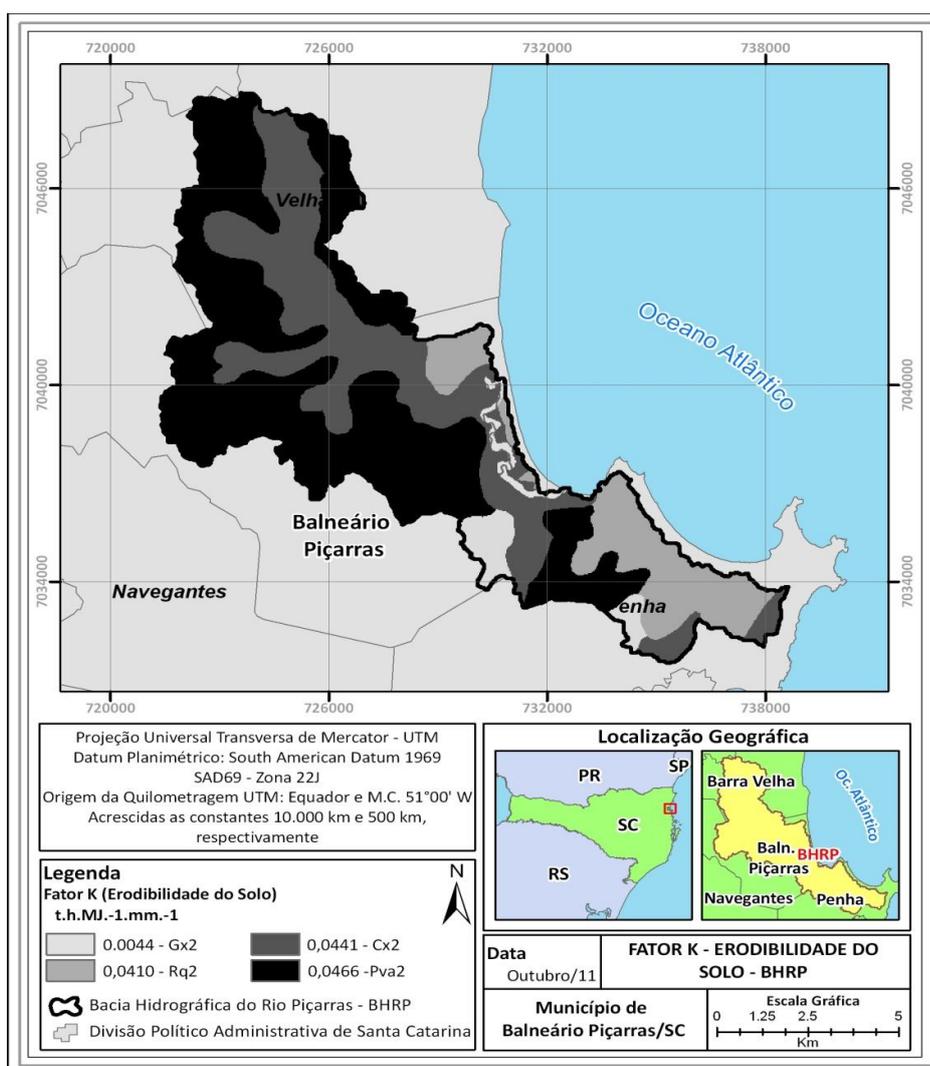


Figura 12 - Mapa de erodibilidade do solo (Fator K) para a bacia hidrográfica do rio Piçarras

As categorias de declividade definidas pela EMBRAPA (1995) foram utilizadas para descrever a bacia hidrográfica do rio Piçarras (Tabela 9). A distribuição das classes de declividade é bastante uniforme até a classe de 20% (Figura 13 - Distribuição da declividade em porcentagem para a bacia hidrográfica do rio Piçarras.), reduzindo nas duas últimas classes que classificam o relevo como extremamente ondulado e montanhoso. A declividade média da BHRP é de 9,13%, definindo a bacia como sendo suavemente ondulada, de acordo com a classificação proposta.

Tabela 9 - Classes de declividade da BHRP definidas de acordo com a EMBRAPA (1995).

| Intervalo de Declividade (%) | Descrição do Relevo | Área (km²) | Área (%) |
|-------------------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------|
| 0 - 2 | Plano | 25,23 | 25,66 |
| 2 - 5 | Suavemente ondulado | 19,23 | 19,55 |
| 5 - 10 | Moderadamente ondulado | 19,06 | 19,38 |
| 10 - 20 | Ondulado | 22,74 | 23,12 |
| 20 - 40 | Extremamente ondulado | 10,83 | 11,01 |
| > 40 | Montanhoso | 1,26 | 1,28 |

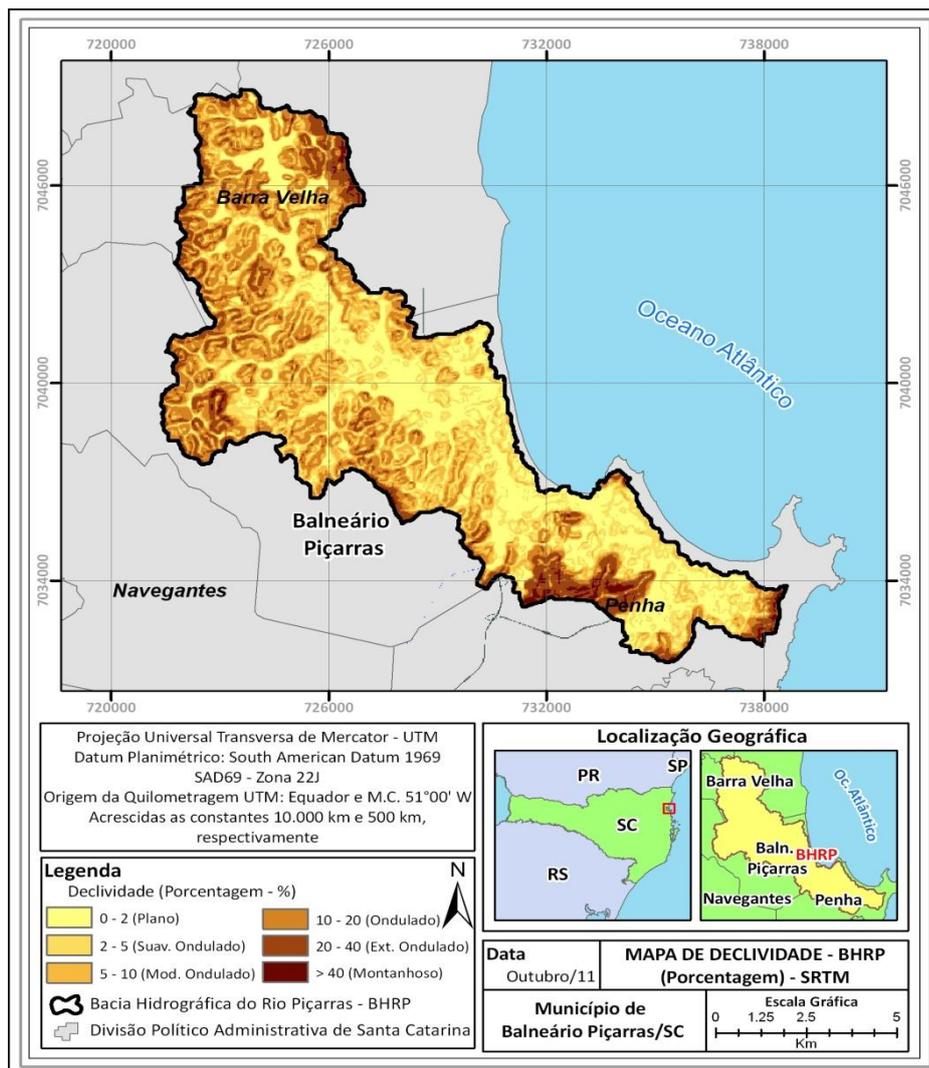


Figura 13 - Distribuição da declividade em porcentagem para a bacia hidrográfica do rio Piçarras.

A Figura 14 apresenta o mapa do Fator Topográfico (Fator LS) para a bacia hidrográfica do rio Piçarras. Analisando os valores de área (km²) e a frequência relativa (%) descritos na Tabela 10 é evidente que os valores do Fator LS calculados (aproximadamente 85% dos valores) aparecem entre o intervalo entre 0 e 3. Estes baixos valores são atribuídos ao fato de que a bacia hidrográfica é uma bacia de planície (PBDEE, 1997; HOEFEL, 1998).

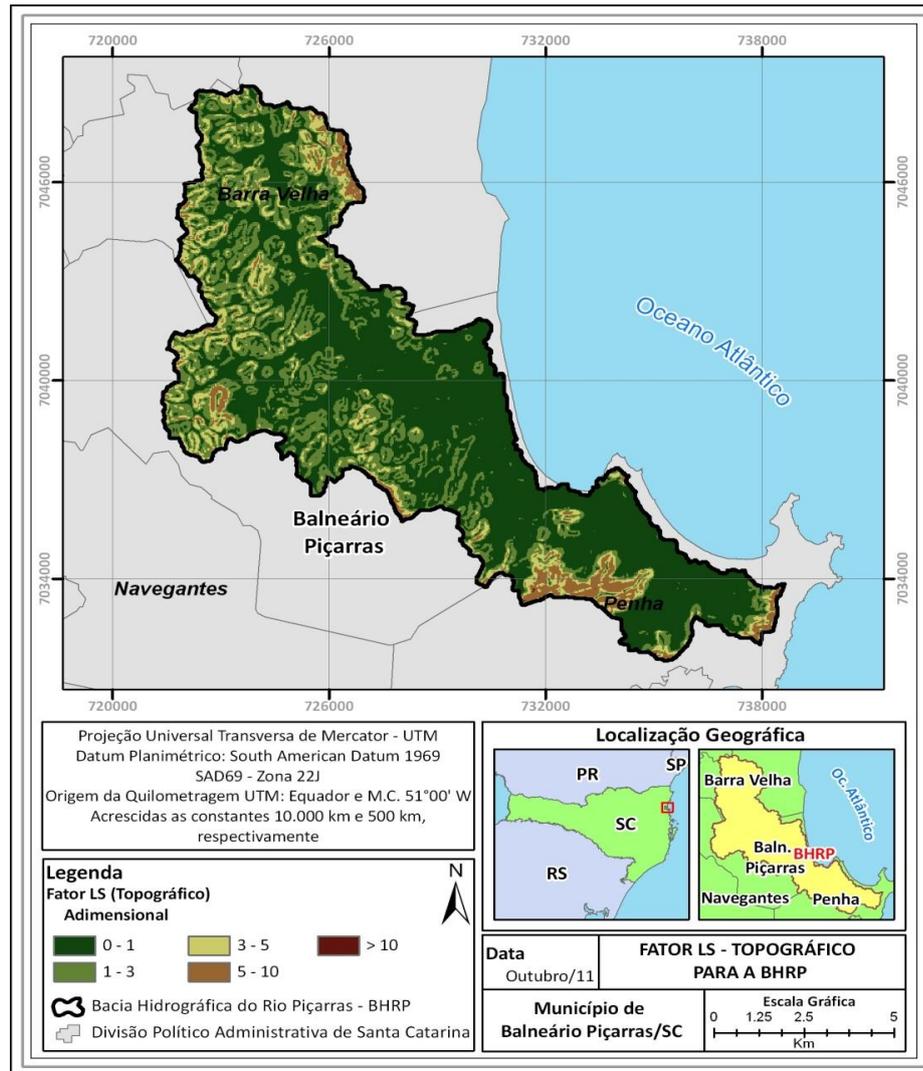


Figura 14 - Mapa do Fator LS (Topográfico) gerado a partir do MDE SRTM para a bacia hidrográfica do rio Piçarras.

Tabela 10 - Intervalo das classes de área (km²) e frequência relativa (%) do Fator Topográfico (Fator LS - adimensional) para a bacia hidrográfica do rio Piçarras.

| Fator LS (Topográfico) | | |
|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| <i>Intervalo do Fator LS</i> | <i>Área (km²)</i> | <i>Frequência relativa (%)</i> |
| 0 - 1 | 55,46 | 56,38 |
| 1 - 3 | 28,80 | 29,28 |
| 3 - 5 | 9,73 | 9,90 |
| 5 - 10 | 4,34 | 4,41 |
| > 10 | 0,03 | 0,03 |

7.3 FATOR CP (USO E MANEJO DO SOLO E PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS)

A cobertura da vegetação funciona como um escudo de proteção natural do solo frente às variáveis físicas que impulsionam os processos erosivos. Este fator reflete a capacidade de proteção e como cada tipo de uso e ocupação do solo regula as perdas de solo (TOMAZONI & GUIMARÃES, 2005).

Os fatores de C (uso e manejo) e P (práticas conservacionistas) geralmente são apresentados de forma combinada (Fator CP) pelos autores que estudam as perdas de solo em bacias hidrográficas.

Ao mapa de uso e ocupação do solo confeccionado a partir da imagem do satélite Landsat 5 – TM de 2010 foram aferidos os valores do Fator CP correspondentes a cada classe definida de uso da terra. A Tabela 11 apresenta a descrição das classes de uso do solo da bacia hidrográfica e o respectivo valor do Fator CP definido para cada uma delas, sendo que o plano de informação gerado é apresentado na Figura 15 – Mapa do fator CP (Uso e Manejo e Práticas Conservacionistas) para a bacia hidrográfica do rio Piçarras (Década de 2000)..

Tabela 11 - Classes de uso e ocupação da Bacia hidrográfica do rio Piçarras e respectivos valores do Fator CP para cada classe definida.

| Fator C (Uso e Manejo do Solo) | |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| <i>Classe de uso do solo</i> | <i>Fator C (adimensional)</i> |
| Agricultura | 0,2900 |
| Floresta/Mata | 0,0100 |
| Urbanização | 0,0000 |
| Rio/Água | 0,0000 |
| Pastagem | 0,0075 |
| Rodovia | 0,0000 |

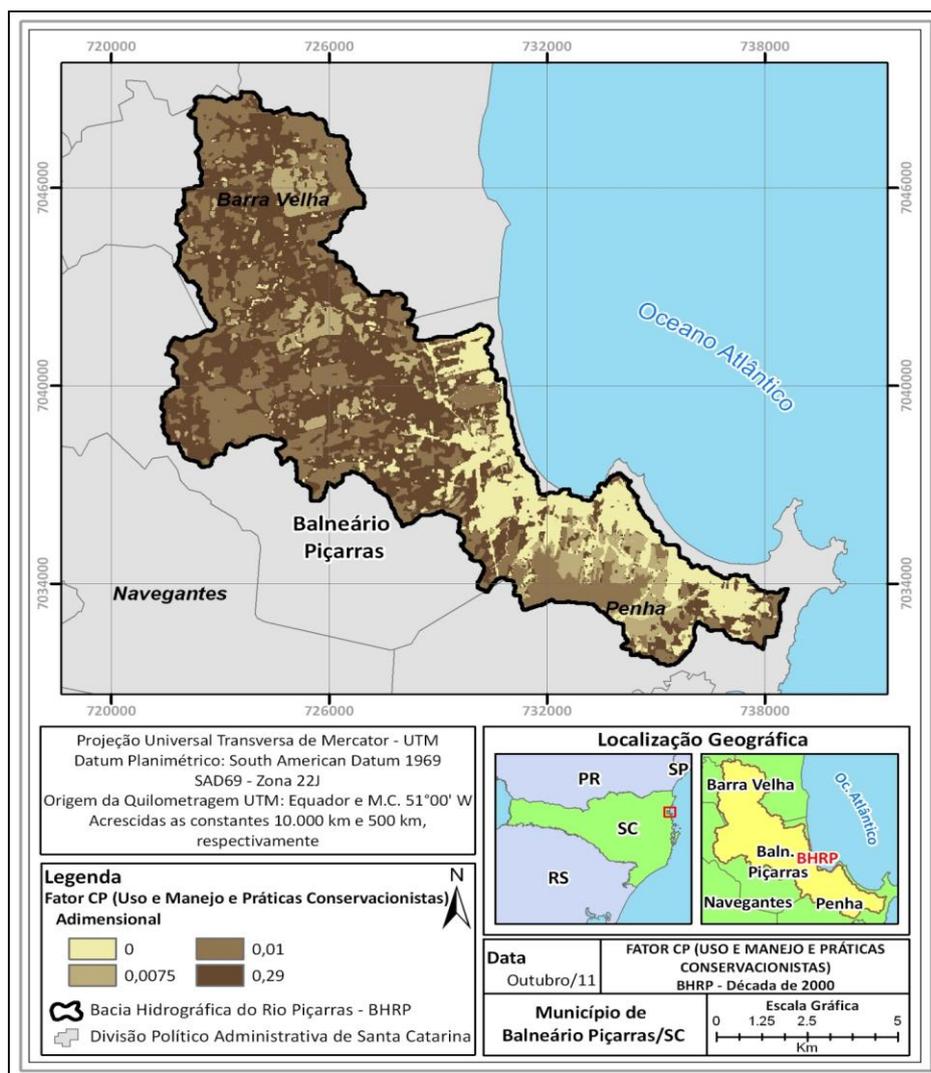


Figura 15 – Mapa do fator CP (Uso e Manejo e Práticas Conservacionistas) para a bacia hidrográfica do rio Piçarras (Década de 2000).

7.4 FATOR A (PERDAS DE SOLO)

Após o cálculo de todos os fatores definidos por WISCHMEIER & SMITH (1978) como sendo fatores determinantes para estimar as perdas de solo, da criação dos planos de informação pertinentes a cada um destes fatores e, pela combinação dos destes planos em ambiente SIG seguindo a equação proposta ($A = R \times K \times LS \times CP$), são apresentados os valores de erosão em $ton.ha^{-1}.ano^{-1}$ para a Bacia hidrográfica do rio Piçarras para a década de 2000 (Figura 16).

CARVALHO (1994) definiu para estudos hidrossedimentológicos intervalos de perda de solo utilizados e adaptados para este estudo: 0-15 ton/ha.ano – baixa; 15-50 ton/ha.ano – moderada; 50-120 ton/ha.ano – média; 120-200 ton/ha.ano – forte e; > 200 ton/ha.ano – muito forte.

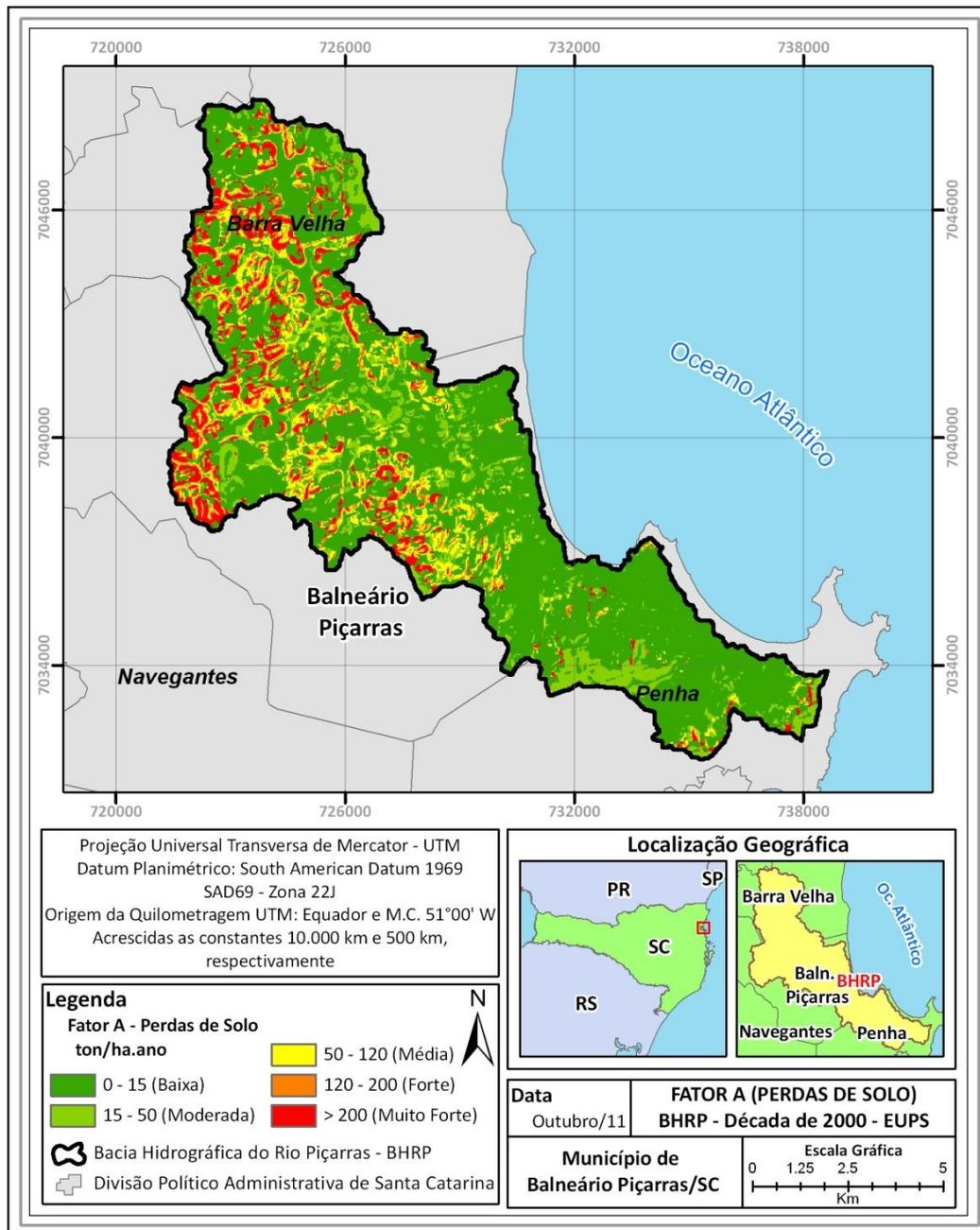


Figura 16 - Média da produção de sedimentos em toneladas por hectare (ton/ha.ano) da Bacia hidrográfica do rio Piçarras para a década de 2000 estimada pelo modelo EUPS.

A Tabela 12 - Distribuição do Fator A (Perdas de Solo) por classe de uso e ocupação do solo, juntamente com a área (km²) de cada tipo de uso do solo distribuídas na Bacia hidrográfica do rio Piçarras. apresenta a distribuição das classes do Fator A (Perdas de Solo) para cada tipo de uso e ocupação do solo definido para a análise da Bacia hidrográfica do rio Piçarras. É evidente que a classe de agricultura apresentou os maiores valores de perdas de solo anual por hectare (ha): 106,22 ton/ha.ano. As áreas ocupadas por mata nativa apresentam taxas bem menores de perdas de solo, da ordem de dez vezes, do que as áreas utilizadas para cultivos agrícolas, evidenciando o quanto é

importante a preservação destas áreas para controlar problemas e minimizar a erosão do solo.

Tabela 12 - Distribuição do Fator A (Perdas de Solo) por classe de uso e ocupação do solo, juntamente com a área (km²) de cada tipo de uso do solo distribuídas na Bacia hidrográfica do rio Piçarras.

| Uso e Ocupação do Solo | Fator A (ton/ha.ano) | Área (ha) |
|------------------------|----------------------|-------------|
| | Década 2000 | Década 2000 |
| <i>Agricultura</i> | 106,22 | 4.018 |
| <i>Mata Nativa</i> | 10,28 | 3.040 |
| <i>Urbano</i> | 0,59 | 1.546 |
| <i>Água/Rios</i> | 0,08 | 28 |
| <i>Pastagem</i> | 4,22 | 1.166 |
| <i>Rodovias</i> | 0,25 | 51 |

A Tabela 13 apresenta a porcentagem da área da bacia hidrográfica que está inserida em cada uma das classes definidas pelo autor. É possível verificar que grande parte da área da bacia hidrográfica está inserida dentro da classe definida como baixa (0 a 15 ton/ha.ano) na década analisada. Entretanto, há também um percentual considerável (cerca de 8,30%) da área da bacia hidrográfica inserida dentro da classe mais crítica de erosão para estudo hidrossedimentológicos definida por CARVALHO (1994), com taxas de erosão acima de 200 ton/ha.ano.

Tabela 13 – Porcentagem da área da Bacia hidrográfica do rio Piçarras inserida em cada uma das classes de perda de solo para estudos hidrossedimentológicos definidas por CARVALHO (1994), para a década de 2000.

| Década | Intervalo (ton/ha.ano) | | | | |
|--------|------------------------|---------|----------|-----------|-------|
| | 0 - 15 | 15 - 50 | 50 - 120 | 120 - 200 | > 200 |
| 2000 | 63,53 | 13,09 | 9,57 | 5,51 | 8,30 |

A Tabela 14 apresenta uma informação similar a da tabela anterior, porém a área da bacia hidrográfica é dividida de forma relativa aos tipos de solo presentes na bacia, sendo que estão apresentados os resultados obtidos para a porcentagem da área erodida de cada tipo de solo para a década analisada.

Tabela 14 - Distribuição da média das perdas de solo para a Bacia hidrográfica do rio Piçarras entre os anos de 2001 a 2009 por intervalo de perda de solo (CARVALHO, 1994), representados em porcentagem por tipo de solo em relação à área total da bacia.

| Tipo de Solo (2000) | Intervalo de perda de solo (ton/ha.ano) | | | | | % Total |
|----------------------------|---|---------|----------|-----------|-------|---------|
| | 0 - 15 | 15 - 50 | 50 - 120 | 120 - 200 | > 200 | |
| Neossolo Quartzarênico | 12,94 | 0,79 | 0,20 | 0,04 | 0,00 | 13,99 |
| Cambissolo Háplico | 20,25 | 4,57 | 3,42 | 1,78 | 2,04 | 32,05 |
| Gleissolo Háplico | 3,09 | 0,23 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 3,33 |
| Argissolo Vermelho-Amarelo | 27,25 | 7,49 | 5,93 | 3,69 | 6,27 | 50,63 |
| % Total | 63,53 | 13,09 | 9,57 | 5,51 | 8,30 | 100,00 |

As áreas ocupadas pelos solos do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo, que ocupam a maior área da bacia hidrográfica (cerca de 50% do total) apresentaram os maiores valores de erosão relativa acima dos limites toleráveis, definidos por MANNIGEL *et al.* (2002) como mostra a Tabela 15.

Em seguida, os solos do tipo Cambissolo Háplico apresentaram valores de erosão relativa moderados e os solos do tipo Gleissolo Háplico e Neossolo Quartzarênico mostram que a maior parte da área ocupada por estes tipos de solos aparecem dentro dos limites de erosão definidos como toleráveis por MANNIGUEL *et al.* (2002). Porém, analisando um padrão geral para a bacia hidrográfica, as estimativas encontradas neste trabalho mostram que aproximadamente 36,80% da área sua área apresentam perdas de solo acima dos limites toleráveis, podendo comprometer no futuro o equilíbrio do sistema caso medidas de conservação e manejo adequado não sejam tomadas.

Tabela 15 - Distribuição da área relativa a cada tipo de solo que se encontra acima ou abaixo da tolerância de perda de solo (ton/ha.ano) de acordo com os intervalos definidos por MANNIGEL *et al.* (2002).

| Tipo de Solo | Tolerância de Perda de Solo (ton/ha.ano) | Área com erosão abaixo do limite tolerável (%) | Área com erosão acima do limite tolerável (%) | Década |
|----------------------------|--|--|---|--------|
| Neossolo Quartzarênico | 14,70 | 92,40 | 7,60 | 2000 |
| Cambissolo Háplico | 11,62 | 60,15 | 39,85 | |
| Gleissolo Háplico | 5,82 | 87,09 | 12,91 | |
| Argissolo Vermelho-Amerelo | 9,06 | 42,87 | 57,13 | |

8. CONCLUSÕES

O trabalho demonstra que a integração do banco de dados e um SIG no monitoramento da qualidade ambiental e susceptibilidade erosiva de uma bacia hidrográfica pode fornecer subsídios muito valiosos para a manutenção da sua qualidade ambiental ou sobre novas práticas e medidas que devem ser tomadas para recuperar uma determinada região.

A aplicação da EUPS em bacias hidrográficas é de grande valia para definir áreas críticas dentro do sistema e direcionar a aplicação ou criação de novas políticas públicas ou mesmo da legislação vigente para conter o avanço das fronteiras agrícolas e inferir sobre práticas conservacionistas de manejo e preservação. O modelo aplicado, mesmo que seja interpretado de forma qualitativa, possui algumas limitações, como por exemplo, a não quantificação de área de deposição de sedimentos, mas por outro lado, sua formulação permite cálculos rápidos, além do mapeamento simples e de baixo custo.

Os resultados ainda demonstram que as maiores declividades associadas com o uso e ocupação do solo agricultura e tipos de solo mais suscetíveis aos processos erosivos (Argissolo e Cambissolo) são áreas mais críticas a sentir os efeitos da erosão hídrica. Existem práticas que podem ser adotadas para minimizar as perdas de solo e melhorar a qualidade da terra para a agricultura, além de reduzir a porcentagem da área da bacia que excede os limites toleráveis de perdas de solo.

Com isso é possível afirmar que o modelo EUPS foi aplicado na Bacia hidrográfica do rio Piçarras para avaliar as perdas de solo, de forma que o resultado expressa ao menos, de forma qualitativa, as áreas da bacia mais suscetíveis aos processos erosivos que ocorrem neste sistema. Mesmo assim, o valor de 47,93 ton/ha para cada um dos anos analisados foi encontrado. Porém, medições *in situ* são recomendadas para que se possa inferir de forma mais coerente e precisa sobre os valores de erosão apresentados neste trabalho, sendo que este é um problema recorrente em diversas outras bacias hidrográficas do território brasileiro.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A.W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V.S. & SANTOS, J.R. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. R. Bras. Eng. Agric. Amb., 6:136-141, 2002.

AMORE, E.; MODICA, C.; NEARING, M.A. & SANTORO, V.C. Scale effect in USLE and WEPP application for soil erosion computation from three Sicilian basins. J. Hydrol., 293: 100-114. 2004.

AMORIM, R.S.S. Avaliação dos modelos de previsão da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para condições edafoclimáticas brasileiras. 2004. 120f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.

ARAUJO, R.S.; SPROVIERI, F.C.; FREITAS, D.; KLEIN, A.H.F. Variação da Morfologia Praial e Identificação da Zona de Erosão Acentuada (ZEA) na Enseada do Itapocorói – SC. BJUST. 14(1), 29-38. 2010.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. São Paulo: Ícone, 1990.

BESKOW, S.; MELLO, C.R.; COELHO, G.; SILVA, A.M. & VIOLA, M.R. Estimativa do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica com base em modelagem dinâmica e distribuída. R. Bras. Ci. Solo, 33:169-178, 2009.

BOTELHO, R.G.M. – Planejamento Ambiental em Microbacia Hidrográfica. In GUERRA, A.J.T; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (orgs). *Erosão e conservação dos solos – conceitos, temas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

BOTELHO, R.G.M.; SILVA, A.S. Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. In: Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil. 1.ed. Rio de Janeiro: BertrandBrasil, p.153-157. 2004.

BRANCO, N. Avaliação da produção de sedimentos em eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica rural de encosta. Dissertação de Mestrado (Engenharia Agrícola) – UFSM. 118p. 1998.

BURROUGH, P.A.; MCDONNELL, R.A. Principles of Geographical Information Systems. London: Oxford. (#1: Digital Elevation Models: 121-132, #2: Interpolation 98-120 and 132-161). 1998.

CARVALHO, N.O. *Hidrossedimentologia Prática*. Rio de Janeiro: CPRM, 372p. 1994.

CARVALHO, N.O.; FILIZOLA Jr, N.P.; SANTOS, P. M . C.; LIMA, J. E. F.W. Guia de práticas sedimentométricas. Brasília: ANEEL. 154p. 2000.

CARVALHO, J. C. (2006). Processos erosivos no Centro-Oeste Brasileiro. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC, 2006.

CECCHIA, T.; CHAFFE, P.L.B.; KOBİYAMA, M.; RIBAS JR., U.; LANGA, R.; BASSO, S. Distribuição espacial e temporal da erosividade da chuva no município de Rio Negrinho e região adjacente no Estado de Santa Catarina. *in VI Simpósio Nacional de Geomorfologia*. 11p. 2006.

COELHO NETO, A. L. Diagnóstico de erosão para o planejamento regional: subsídios metodológicos sob enfoque geo-hidrológico. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 6., 1998, Presidente Prudente. Anais... Presidente Prudente, CD ROM. 1998.

COMITÊ DO ITAJAÍ. Plano de recursos hídricos da Bacia do Itajaí: para que a água continue a trazer benefícios para todos: caderno síntese. Blumenau: Fundação Agência de Água do Vale do Itajaí, 80 p. 2010.

CUNHA, S.B. & GUERRA, A.J.T. – Degradação Ambiental *in* CUNHA, S.B. & GUERRA, A .J.T. (orgs.). Geomorfologia e Meio Ambiente. Cap.7, p.337-347. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2000.

DABRAL, P.P.; BAITHURI, N.; PANDEY, A. Soil erosion assessment in a hilly catchment of North Eastern India using USLE, GIS and remote sensing. *Water Resources Management* 22: 1783–1798. 2008.

DE PAIVA, E.M.C.D. Métodos de Estimativa da Produção de Sedimentos em Pequenas Bacias Hidrográficas. In: *Hidrologia Aplicada a Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas*. Org. por De PAIVA, J.B.D.; De PAIVA, E.M.C.D., Porto Alegre: ABRH. pp. 365-394. 2001.

EASTMAN, J. R. IDRISI for Windows: User's guide. Massachusetts: Clark University, 367 p. 1999.

EMBRAPA. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. 3.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, Brazil, 1–65pp. 1995.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro. 412p. 1999.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. Disponível em: <<http://www.esri.com>>. Acesso em janeiro de 2011.

FARINASSO, M.; CARVALHO JÚNIOR, O.A. de; GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R.A.T.; RAMOS, V.M. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS – Equação Universal de Perdas de Solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do alto Parnaíba – PI-MA. Revista Brasileira de Geomorfologia. n. 2 p. 73-85, 2006.

FIGUEREDO, A.G. Análise da produção e transporte de sedimento nas bacias do rio Peixe e rio Aguapei. Anais do Simpósio Recursos Hídricos. São Paulo ABRH, 2v, 1989.

FINKL, C. W. What Might Happen to America's Shorelines if Artificial Beach Replenishment is Curtailed: a Prognosis for Southeastern Florida and Other Sandy Regions Along Regressive Coasts. Journal of Coastal Research. 12 (1), iii – ix. 1996.

FOSTER, G. R. Modeling the erosion process. In: HAA N, C. T., JOHNSON, H.P., BRAKENSIEK, D. L., ed. Hydrologic Modeling of small Watersheds. St. JOSEPH, ASAE. Chap. 8, p. 297-380. 1982.

FRASSON, M.H.S. Mapeamento geológico da região costeira de Penha e Piçarras, SC. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) -Universidade do Vale do Itajaí. Universidade do Vale do Itajaí. 2000.

GAPLAN/SC. Atlas de Santa Catarina. Rio de Janeiro. Aerofoto Cruzeiro. 173p. 1986.

GASSMAN, P.W.; REYES, M.R.; GREEN, C.H.; ARNOLD, J.G. The soil and water assessment tool: historical development, applications, and future research directions. Transactions of the ASABE 50: 1211–1250. 2007.

GUERRA, A. T. Dicionário Geológico-Geomorfológico. 6º edição. Rio de Janeiro: IBGE. 448p. 1978.

GUERRA, A.J.T. Processos erosivos nas encostas. In: Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Orgs.: A.J.T. Guerra e S.B. da Cunha. 3a ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 149-209 pp. 1998.

GUTH, P. L. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas de culturas oleaginosas. 2010. 83 f. Dissertação (Mestrado Ciência do Solo) – Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo Área de concentração em Biodinâmica e Manejo do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

HOEFEL, F.G. Diagnóstico da erosão costeira na Praia de Piçarras, SC. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro. Tese (Mestrado: Ciências em Engenharia Oceânica). 1998.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 10/08/10.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 21/09/11.

INPH. Projeto Básico para Recuperação das Praias de Piçarras e Penha – SC. Relatório 14/92. Piçarras 900/01. Rio de Janeiro. INPH. 1992.

JAIN, S.K.; KUMAR, S.; VARGHESE, J. Estimation of soil erosion for a Himalayan watershed using GIS technique. Water Resources Management 15: 41–54. 2001.

KLEIN, A.H.F. 2004. Morphodynamics of Headland Bay Beaches. 2004. Tese (Doutorado) – Universidade do Algarve, Faro, Portugal. 450p.

KOMAR, P.D. Beach processes and sedimentation. New Jersey: Prentice Hall, 429 p. 1976.

LABGIS. Laboratório de Geoprocessamento. Disponível em <<http://www.labgis.uerj.br>>. Acesso em 20 de dezembro de 2010.

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics, v.33, n.1, p.159-174, 1977.

LIMA, J.E.F.W.; SANTOS, P.M.C.; CHAVES, A.M.G.; SCILEWSKI, L.R. Diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão na Bacia do Rio São Francisco. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados; Brasília, DF: ANA; ANEEL. 108p. 2001.

- MANNIGEL, A.R.; CARVALHO, M.P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L.R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. *Acta Scientiarum* 24: 1335–1340. 2002.
- MARTINS, S.G.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; FONSECA, S; MARQUES, J.J.G.S.M. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz (ES). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 395-403, jun. 2003.
- MARTINS, S.G.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; FONSECA, S; MARQUES, J.J.G.S.M. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz (ES). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 395-403, jun. 2003.
- MELLO, C.R.; SÁ, M.A.C.; CURI, N.; MELLO, J.M. & VIOLA, M.R. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 42: 537–545. 2007.
- MENDES, C. A. B., CIRILO, J. A. Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, Integração e Aplicação. Porto Alegre: ABRH, 2001. cap. 2. p. 57-111.
- MEYER, L.D. Soil erosion by water on upland areas. In: SHEN, H.D. Ed. *Rivers Mechanics*. Fort Collins. V.2. chap. 27. 1971.
- MIRANDA, E. E. de; (Coord.). *Brasil em Relevo*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 30 jan. 2012.
- MOREIRA, M.A. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicações. UFV, 307 p. 2003.
- NASCIMENTO, A.P.do.; COIADO, E.M. Análise sobre a representatividade de carga de lavagem em escoamento a livre - Rio Atibaia/SP. In: *CARACTERIZAÇÃO QUALIQUANTITATIVA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS*. Santa Maria: ABRH/UFMS. tema 2, p. 207-218. 2001.
- NEITSCH, S.L.; ARNOLD, J.G.; KINIRY, J.R.; WILLIAMS, J.R. *Soil and Water Assessment Tool – Theoretical Documentation, Version 2005*. Texas, USA. 2005.

- OLIVEIRA, A.M.M.; DE PINTO, S.A.F.; LOMBARDI NETO, F. Caracterização de indicadores da erosão do solo em bacias hidrográficas com o suporte de Geotecnologias e modelo preditivo. *Estudos Geográficos* 5: 63–86. 2007.
- PADILHA, D.G. Geoprocessamento Aplicado na Caracterização da Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande, RS. Dissertação de Mestrado. UFSM, 86p. 2008.
- PAIVA, C.F.E.; OLIVEIRA, V.S.; VENDRAME, I.F. & AULICINO, L.C.M. Estimativa das perdas de solo por erosão hídrica na bacia do rio Una Taubaté – SP com o emprego de sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Belo Horizonte: SBSR: 1407-1414. 2003.
- PAULA, E. V. 2010. Análise da Produção de Sedimentos na Área de Drenagem da Baía de Antonina/PR: uma abordagem geopedológica. Tese doutorado Geografia. UFPR, 168 p.
- PBDEE – Plano Básico de Desenvolvimento Ecológico e Econômico. Itajaí: AMFRI. 1997.
- PEREIRA, L.C. Aptidão agrícola das terras e sensibilidade ambiental: proposta metodológica. Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas. Tese de Doutorado. 2002.
- PROCHNOW, D.; DECHEN, S.C.F.; MARIA, I.C.; CASTRO, O.M.; VIEIRA, S.R. Razão de perdas de terra e fator C da cultura do cafeeiro em cinco espaçamentos, em Pindorama (SP). *Rev. Bras. Ciênc. Solo* [online]. vol.29, n.1: 91-98. 2005.
- RENARD, K.G.; FREIMUND, J.R. Using monthly precipitation data to estimate the Rfactor in the revised USLE. *Journal of Hydrology* 157: 287–306. 1994.
- RENARD, K.G.; MEYER, L.D.; FOSTER, G.R. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Department of Agriculture, Washington University, 384p. 1997.
- ROSS, J.L.S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. *Revista do Departamento de Geografia*. n.8, p.63-74. 1994.
- RUHOFF, A.L.; SOUZA, B.S.P.; GIOTTO, E.; PEREIRA, R.S. Avaliação dos processos erosivos através da Equação Universal de Perda de Solos, implementada com algoritmos em LEGAL. *Geomática*: 1–9. 2006.

SILVA, A.M.; SCHULZ, H.E.; CAMARGO, P.B. Erosão e hidrossedimentologia em bacia hidrográficas. RIMA Editora, São Carlos, 138p. 2004.

SILVA, A.M.; SILVA, M.L.N.; CURI, N. & LIMA, J.M. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. Pesq. Agropec. Bras., 40:1223-1230, 2005.

STEIN, D.P.; DONZELLI, P.L.; GIMENEZ, F.A.; PONÇANO, E.L; LOMBARDI NETO, F. Potencial de Erosão Laminar, Natural e Antrópica na Bacia do Peixe-Parapanema. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 4. Anais... São Paulo. p. 105-135. 1987.

SUZIN, L. Diagnóstico da qualidade ambiental do Rio Piçarras, SC. Itajaí: Universidade do Vale do Itajaí. Monografia de Especialização (Curso de Gestão Ambiental: Ênfase em Organizações Produtivas). 2004.

TOMAZONI, J.C.; GUIMARÃES, E. E. A sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na bacia do Rio Jirau. Revista Brasileira de Cartografia, v.57, n.3: 235-244. 2005.

TUNDISI, J. E. M. Indicadores da qualidade da bacia hidrográfica para gestão integrada dos recursos hídricos. Estudo de caso: Bacia hidrográfica do Médio Tocantins/ José Eduardo Matsumura Tundisi. – São Carlos. UFSCar, 152p, 2006.

UFRA. Universidade Federal Rural da Amazônia Instituto de Ciências Agrárias. Levantamento e conservação do solo manejo e conservação do solo e da água. 2007.

UNICEUB - Centro Universitário de Brasília, Curso de Geografia. Sistema de Informações Geográficas – SIG (1996). Disponível em: <www.geografia.uniceub.br/SIG.pdf>. Acesso em out, 2010.

VEIGA, M.; AMADO, T. J. C. Preparo do solo. In: Manual de uso, manejo e conservação do solo. Florianópolis: Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento 1991. 292 p.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Soil loss estimation as a tool in soil and water management planning. Inst. Ass. Sci. Hidrology Common Land Erosion. Pub. p. 148-159. 1962.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. USDA, Washington. 58 p. 1978.

YOUNG, R.A.; ONSTAD, C.A.; BOSCH, D.D.; ANDERSON, W.P. AGNPS, Agricultural non-point source pollution model: a watershed analysis tool. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Conservation Research Report 35, 65p. 1987.

ZAKIA, M.J.B. Identificação e caracterização da zona ripária em uma microbacia experimental: implicações no manejo de bacias hidrográficas e na recomposição de matas nativas. Tese de Doutorado. EESC/USP. 1998.

10. ANEXOS

ANEXO I – PADRÃO DE CORES PARA MAPA/CARTAS DE SOLO.

| Convenção de cores para mapas/cartas de solos - Segundo Nível Categórico (Sistema PANTONE, CMYK, RGB e HSV - p/ ArcView)2ª Edição | | |
|---|---|--|
| <p>Argissolos</p> <p>Argissolos Bruno-Acinzentados - PBAC E 141-9 CVC C=0 M=15 Y=3 K=0 R=250 G=210 B=221 / H=13 S=65 V=255</p> <p>Argissolos Acinzentados - PAC E 108-9 CVC C=0 M=15 Y=10 K=3 R=241 G=204 B=200 / H=13 S=146 V=225</p> <p>Argissolos Amarelos - PA E 124-9 CVC C=0 M=5 Y=3 K=0 R=253 G=241 B=240 / H=0 S=50 V=253</p> <p>Argissolos Vermelhos - PV E 86-9 CVC C=0 M=35 Y=25 K=0 R=240 G=165 B=157 / H=13 S=146 V=255</p> <p>Argissolos Vermelho-Amarelos - PVA E 107-9 CVC C=0 M=15 Y=10 K=0 R=249 G=210 B=205 / H=13 S=81 V=255</p> | <p>Latossolos</p> <p>Latossolos Brunos - LB E 6-5 CVC C=0 M=10 Y=50 K=5 R=236 G=213 B=131 / H=19 S=145 V=216</p> <p>Latossolos Amarelos - LA E 5-8 CVC C=0 M=3 Y=30 K=0 R=254 B=243 B=175 / H=39 S=105 V=254</p> <p>Latossolos Vermelhos - LV E 32-5 CVC C=0 M=25 Y=50 K=0 R=244 G=185 B=128 / H=14 S=135 V=255</p> <p>Latossolos Vermelho-Amarelos - LVA E 32-7 CVC C=0 M=15 Y=30 K=0 R=247 G=209 B=166 / H=27 S=195 V=214</p> | <p>Organossolos</p> <p>Organossolos Tiomórficos - OJ E 224-6 CVC C=50 M=15 Y=0 K=25 R=94 G=129 B=161 / H=139 S=179 V=115</p> <p>Organossolos Fólicos - OO E 204-6 CVC C=40 M=25 Y=0 K=5 R=133 G=150 B=193 / H=130 S=225 V=130</p> <p>Organossolos Hápticos - OX E 204-8 CVC C=25 M=15 Y=0 K=3 R=167 G=179 B=213 / H=135 S=255 V=150</p> |
| <p>Cambissolos</p> <p>Cambissolos Húmicos - CH E 27-7 CVC C=10 M=20 Y=50 K=5 R=207 G=182 B=128 / H=30 S=95 V=189</p> <p>Cambissolos Flúvicos - CY E 29-8 CVC C=5 M=10 Y=20 K=0 R=235 G=219 B=191 / H=25 S=130 V=185</p> <p>Cambissolos Hápticos - CX E 29-7 CVC C=10 M=15 Y=30 K=0 R=215 G=197 B=165 / H=24 S=80 V=214</p> | <p>Luvisolos</p> <p>Luvisolos Crômicos - TC E 28-3 CVC C=10 M=40 Y=100 K=0 R=212 G=150 B=22 / H=10 S=160 V=201</p> <p>Luvisolos Hápticos - TX E 26-6 CVC C=10 M=25 Y=60 K=0 R=215 G=178 B=112 / H=15 S=145 V=172</p> | <p>Planossolos</p> <p>Planossolos Nátricos - SN E 258-7 CVC C=35 M=0 Y=20 K=0 R=137 G=202 B=199 / H=111 S=255 V=188</p> <p>Planossolos Hápticos - SX E 207-7 CVC C=20 M=0 Y=30 K=3 R=181 G=214 B=174 / H=116 S=160 V=196</p> |
| <p>Chernossolos</p> <p>Chernossolos Rêndzicos - MD E 316-5 CVC C=40 M=60 Y=70 K=0 R=142 G=104 B=86 / H=20 S=190 V=80</p> <p>Chernossolos Ebânicos - ME E 102-6 CVC C=20 M=40 Y=30 K=10 R=170 G=134 B=134 / H=20 S=120 V=114</p> <p>Chernossolos Argilúvicos - MT E 102-2 CVC C=20 M=80 Y=60 K=15 R=156 G=74 B=78 / H=0 S=255 V=100</p> <p>Chernossolos Hápticos - MX E 102-4 CVC C=20 M=60 Y=40 K=10 R=168 G=106 B=112 / H=0 S=255 V=130</p> | <p>Neossolos</p> <p>Neossolos Litóicos - RL E 325-6 CVC C=0 M=0 Y=0 K=40 R=150 G=149 B=149 / H=0 S=0 V=120</p> <p>Neossolos Flúvicos - RY E 29-9 CVC C=5 M=5 Y=10 K=0 R=238 G=235 B=220 / H=30 S=45 V=185</p> <p>Neossolos Regolíticos - RR E 325-8 CVC C=0 M=0 Y=0 K=15 R=207 G=206 B=206 / H=0 S=0 V=175</p> <p>Neossolos Quartzarênicos - RQ E 1-7 CVC C=0 M=0 Y=10 K=0 R=255 G=254 B=227 / H=39 S=50 V=255</p> | <p>Plintossolos</p> <p>Plintossolos Pétricos - FF E 152-7 CVC C=3 M=30 Y=0 K=0 R=236 G=172 B=203 / H=230 S=115 V=205</p> <p>Plintossolos Argilúvicos - FT E 153-8 CVC C=5 M=25 Y=0 K=3 R=227 G=179 B=205 / H=229 S=115 V=185</p> <p>Plintossolos Hápticos - FX E 154-9 CVC C=3 M=15 Y=0 K=10 R=214 G=186 B=201 / H=208 S=80 V=183</p> |
| <p>Espodosolos</p> <p>Espodosolos Humilúvicos - EK E 220-8 CVC C=20 M=5 Y=3 K=20 R=154 G=172 B=186 / H=130 S=225 V=147</p> <p>Espodosolos Ferrilúvicos - ES E 220-9 CVC C=10 M=3 Y=3 K=15 R=182 G=190 B=197 / H=130 S=90 V=130</p> <p>Espodosolos Ferrihumilúvicos - ESK E 224-8 CVC C=20 M=5 Y=0 K=20 R=154 G=172 B=188 / H=130 S=100 V=120</p> | <p>Nitossolos</p> <p>Nitossolos Brunos - NB E 59-6 CVC C=0 M=20 Y=25 K=20 R=193 G=163 B=143 / H=19 S=150 V=165</p> <p>Nitossolos Vermelhos - NV E 58-7 CVC C=0 M=25 Y=30 K=10 R=216 G=171 B=146 / H=19 S=175 V=161</p> <p>Nitossolos Hápticos - NX E 56-8 CVC C=0 M=20 Y=25 K=0 R=246 G=198 B=171 / H=19 S=120 V=160</p> | <p>Vertissolos</p> <p>Vertissolos Hidromórficos - VG E 313-7 CVC C=30 M=20 Y=50 K=0 R=158 G=170 B=133 / H=96 S=80 V=128</p> <p>Vertissolos Ebânicos - VE E 315-7 CVC C=30 M=20 Y=50 K=20 R=134 G=143 B=114 / H=61 S=255 V=105</p> <p>Vertissolos Hápticos - VX E 312-8 CVC C=3 M=0 Y=30 K=20 R=192 G=192 B=145 / H=60 S=125 V=139</p> |
| <p>Gleissolos</p> <p>Gleissolos Tiomórficos - GJ E 218-5 CVC C=50 M=15 Y=5 K=0 R=108 G=163 B=205 / H=145 S=255 V=170</p> <p>Gleissolos Sâlicos - GZ E 225-6 CVC C=50 M=5 Y=0 K=0 R=94 G=180 B=230 / H=134 S=255 V=171</p> <p>Gleissolos Melânicos - GM E 211-8 CVC C=30 M=5 Y=3 K=0 R=150 G=199 B=230 / H=144 S=85 V=244</p> <p>Gleissolos Hápticos - GX E 211-9 CVC C=20 M=3 Y=3 K=0 R=182 G=216 B=238 / H=130 S=130 V=202</p> | <p>Convenção de cores para mapas/cartas de solos - Primeiro Nível Categórico (Sistema PANTONE, CMYK, RGB e HSV - p/ArcView)</p> <p>ARGISSOLOS - P E 107-9 CVC C=0 M=15 Y=10 K=0 R=249 G=210 B=205 / H=13 S=81 V=255</p> <p>CAMBISSOLOS - C E 29-8 CVC C=5 M=10 Y=20 K=0 R=235 G=219 B=191 / H=25 S=130 V=185</p> <p>CHERNOSSOLOS - M E 102-2 CVC C=20 M=80 Y=60 K=15 R=156 G=74 B=78 / H=0 S=255 V=100</p> <p>ESPODOSSOLOS - E E 224-8 CVC C=20 M=5 Y=0 K=20 R=154 G=172 B=188 / H=130 S=100 V=120</p> <p>GLEISSOLOS - G E 211-8 CVC C=30 M=5 Y=3 K=0 R=150 G=199 B=230 / H=144 S=85 V=244</p> <p>LATOSSOLOS - L E 32-7 CVC C=0 M=15 Y=30 K=0 R=247 G=209 B=166 / H=27 S=195 V=214</p> | <p>LUVISOLOS - T E 26-3 CVC C=10 M=40 Y=100 K=0 R=212 G=150 B=22 / H=10 S=160 V=201</p> <p>NEOSSOLOS - R E 325-8 CVC C=0 M=0 Y=0 K=15 R=207 G=206 B=206 / H=0 S=0 V=175</p> <p>NITOSSOLOS - N E 58-7 CVC C=0 M=25 Y=30 K=10 R=216 G=171 B=146 / H=19 S=175 V=161</p> <p>ORGANOSSOLOS - O E 204-6 CVC C=40 M=25 Y=0 K=5 R=133 G=150 B=193 / H=130 S=225 V=130</p> <p>PLANOSSOLOS - S E 258-7 CVC C=35 M=0 Y=20 K=0 R=137 G=202 B=199 / H=111 S=255 V=188</p> <p>PLINTOSSOLOS - F E 153-8 CVC C=5 M=25 Y=0 K=3 R=227 G=179 B=205 / H=229 S=115 V=185</p> <p>VERTISSOLOS - V E 312-8 CVC C=3 M=0 Y=30 K=20 R=192 G=192 B=145 / H=60 S=125 V=139</p> |

