

RITA DE CÁSSIA BIANCHI

UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS PARA
ANÁLISES DA CAPACIDADE POTENCIAL DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA
NO SOLO

RITA DE CÁSSIA BIANCHI

UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS PARA
ANÁLISES DA CAPACIDADE POTENCIAL DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA
NO SOLO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para a obtenção do grau de
Especialista em Geoprocessamento no Centro
Integrado de Estudos em Geoprocessamento
(CIEG), Universidade Federal do Paraná.

Orientador: MsC. André Luiz Alencar de Mendonça

CURITIBA

2012

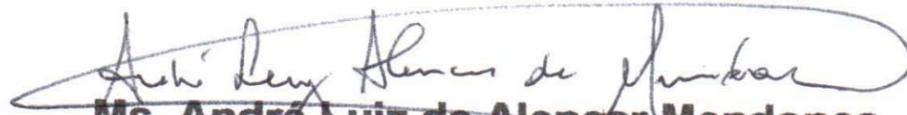
TERMO DE APROVAÇÃO

RITA DE CÁSSIA BIANCHI

UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS PARA ANÁLISES DA CAPACIDADE POTENCIAL DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO

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:

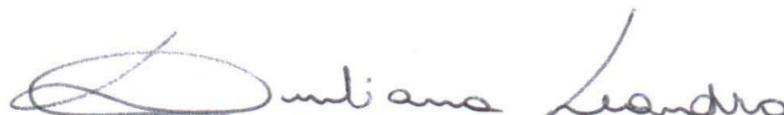
Orientador:



Ms. André Luiz de Alencar Mendonça

Doutorando em Ciências Geodésicas – UFPR

Avaliador:



Profª Ms. Diuliana Leandro

Departamento de Geomática - UFPR

Curitiba, 06 de agosto de 2012.

*Aos meus pais, Zoraide Simplício Bianchi e
Joabe Bianchi, por todas as oportunidades e incentivos
para buscar e lutar pelos meus ideais
DEDICO.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de tudo, por estar sempre presente em nossas vidas.

Aos meus pais, por todo o amor e carinho que me deram, e mesmo estando tão longe, apoiam minhas decisões e vibram com cada vitória alcançada. .

Ao Professor André Luiz, pela orientação, parceria e compreensão, meu muito obrigado. Lembrarei para sempre dos seus ensinamentos e dos momentos de descontração durante o processo do trabalho, levando para sempre seu exemplo de vida e de profissionalismo.

Ao meu namorado, Daniel Prates, por todo o amor, carinho e companheirismo.

A minha tia Janira por todos os mimos, jantinhas, conversas, docinhos, carinhos, sempre a disposição para ajudar.

A todos os amigos pelo estímulo e apoio em todos os momentos

Aos professores do curso de especialização e a Inês pela dedicação e incentivo.

RESUMO

Uma das questões fundamentais que limitam o uso de dados matriciais em Sistemas de Informação Geográfica, para análises espaciais complexas que incluem a criação e utilização de modelos diz respeito à definição dos requisitos mínimos para resolução espacial de dados rasters. Tal definição se faz necessária para atender às necessidades de informação sobre a superfície terrestre. Para essa análise, trabalhar-se-á com uma equação hidrológica para avaliar o potencial de armazenamento do meio poroso na bacia do Rio Canguiri, Região Metropolitana de Curitiba. A metodologia aqui estudada foi dividida em três etapas: a primeira etapa está relacionada à coleta de dados, formação do banco de dados, que é constituído pelos vetores de solos, geologia e hipsométrico; a segunda etapa é o processamento dos dados, relacionando os pesos para as diferentes classes e processando os rasters finais para as dimensões de pixels iguais a 10, 50 e 100m; e a terceira fase, é a modelagem para a integração do banco de dados para analisar o potencial de armazenamento do meio poroso para os diferentes pixels. A partir do modelo digital do terreno (MDT) foi gerada uma matriz de declividade e através da classificação de tais dados, geraram-se três rasters, um com pixel de 10m, outro com 50m e outro raster com pixel de 100 metros. Da mesma forma foram geradas matrizes a partir de dados de solos e geologia. A modelagem feita foi à combinação desses rasters, gerando uma matriz final que representa o potencial de armazenamento do meio poroso, para rasters com pixel de 10, 50 e 100m. Todos os passos relativos a este trabalho foram demonstrados com o uso de software livre, de forma a tornar a metodologia passível de replicação. Assim, pôde-se analisar a influência do tamanho do pixel no cálculo e representação deste potencial. De acordo com a análise da área de estudo (17,94km²), o maior potencial de armazenamento do meio poroso ocorre com as menores declividades e com a formação geológica sedimentar recente e que ha uma tendência espacial facilmente observada nas representações da região, cuja percepção é prejudicada conforme aumenta-se a resolução espacial das matrizes geradas.

Palavras-chave: análise raster; análise espacial; potencial de armazenamento;

ABSTRACT

One of the key issues that limit the use of raster data in Geographic Information Systems for complex spatial analyzes that include the creation and use of models concerns the definition of minimum requirements for spatial resolution of raster data. This definition is necessary to meet the information needs on the surface. For this analysis, will be working with an equation to assess the potential hydrologic storage of the porous medium in the Rio Canguiri, Metropolitan Region of Curitiba. The methodology studied was divided into three stages: the first step is related to data collection, training database, which consists of vectors of soils, geology and topographic and the second step is processing the data, the weights relating for processing the different classes and rasters for the final pixel dimensions equal to 10, 50 and 100m, and the third phase, the modeling is to integrate the database to analyze the storage potential of the porous medium for different pixels. From the digital terrain model (DTM) was generated an array of slopes and through the classification of such data, generated by three rasters, with a pixel of 10m, 50m and another one with pixel raster of 100 meters. Likewise matrices were generated from data of soils and geology. The modeling was carried out the combination of rasters, generating a matrix representing the end of the storage potential of the porous media for rasters with pixel 10, 50 and 100m. All steps of this work has been demonstrated with the use of free software, in order to make the method capable of replication. Thus, we could analyze the influence of pixel size in the calculation and representation of this potential. According to the analysis of the study area (17.94 km²), the largest storage potential of the porous medium occurs with the smaller slope and with the recent sedimentary geological formation and that there is a tendency spatial representations easily observed in the region, whose perception is impaired as it increases the spatial resolution of the generated matrices.

Keywords: analysis raster spatial analysis, storage potential.

LISTA DE TABELAS

TABELA 4.1 – PORCENTAGEM DE ÁREA OCUPADA PELOS DIFERENTES TIPOS DE SOLO	35
TABELA 4.2 – CLASSES CRIADAS PARA OS DIFERENTES MAPAS BASE	41
TABELA 4.3 – INTERVALO DE CLASSES ANALISADAS NO POTENCIAL DE ARMAZENAMENTO DO MEIO POROSO	43
TABELA 5.1 – QUANTIFICAÇÃO DAS CLASSES DO POTENCIAL DE ARMAZENAMENTO DO MEIO POROSO (DIMENSÃO DE PIXEL = 10M, 50M E 100M)	56
TABELA 5.2 – QUANTIFICAÇÃO DAS CLASSES DO POTENCIAL DE ARMAZENAMENTO DO SOLO PARA O ANO DE 2009 (DIMENSÃO DE PIXEL = 10M, 50M E 100M)	60
TABELA 5.3 – DIFERENÇAS PERCENTUAIS ENTRE OS RESULTADOS PARA AS DIFERENTES DIMENSÕES DE PIXELS	60

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 – MAPA DE LONDRES COM OS ÓBITOS POR CÓLERA, IDENTIFICAÇÃO POR PONTOS, E POÇO DE ÁGUA, IDENTIFICADOS POR CRUZES	16
FIGURA 3.2 – ESTRUTURA DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA	19
FIGURA 3.3 – MODELO QUE EXEMPLIFICA A FUNÇÃO DE RECLASSIFICAÇÃO	20
FIGURA 3.4 – MODELO QUE EXEMPLIFICA A FUNÇÃO DE SOBREPOSIÇÃO DE MAPAS	21
FIGURA 3.5 – CARACTERÍSTICAS DE UM PONTO REPRESENTADO EM UMA GRADE	23
FIGURA 3.6 – CARACTERÍSTICAS DE UMA LINHA REPRESENTADA EM UMA GRADE	23
FIGURA 3.7 – REPRESENTAÇÃO DO RASTER PARA DIFERENTES TAMANHOS	24
FIGURA 4.1 – LOCALIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI	30
FIGURA 4.2 – MAPA GEOLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI	33
FIGURA 4.3 – MAPA HIPSOMÉTRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI	34
FIGURA 4.4 – MAPA DE SOLOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI	37
FIGURA 4.6 – MAPA DE USOS DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI PARA O ANO DE 2009	39
FIGURA 4.7 – FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA APLICADA	42
FIGURA 5.1 – MAPA POTENCIAL DE ARMAZENAMENTO DO MEIO POROSO (PIXEL = 10M)	53
FIGURA 5.2 – MAPA POTENCIAL DE ARMAZENAMENTO DO MEIO POROSO (PIXEL = 50M)	54
FIGURA 5.3 – MAPA POTENCIAL DE ARMAZENAMENTO DO MEIO POROSO (PIXEL = 100M)	55
FIGURA 5.4 – MAPA POTENCIAL DE ARMAZENAMENTO DO SOLO (PIXEL = 10M)	57
FIGURA 5.5 – MAPA POTENCIAL DE ARMAZENAMENTO DO SOLO (PIXEL = 50M)	58

FIGURA 5.6 – MAPA POTENCIAL DE ARMAZENAMENTO DO SOLO (PIXEL = 100M)	59
FIGURA 5.7 – COMPARAÇÃO DOS MAPAS DE POTENCIAL DO MEIO POROSO (10, 50 E 100 M) COM OS DADOS BASE	61
FIGURA 5.8 – COMPARAÇÃO DOS MAPAS DE POTENCIAL DE INFILTRAÇÃO DO SOLO (10, 50 E 100 M) COM OS DADOS BASE	62

SUMÁRIO

RESUMO	V
ABSTRACT	VI
1 INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 ANÁLISE ESPACIAL	15
3.1.1 <i>Funções de Análise usando Sistemas de Informação Geográfica (SIG)</i>	19
3.1.1.1 Funções da Análise espacial no SIG.....	21
3.1.2 <i>Análise Espacial usando Dados Raster</i>	23
3.2 HIDROLOGIA APLICADA À MODELAGEM ESPACIAL.....	25
3.2.1 <i>Bacia Hidrográfica</i>	25
3.2.2 <i>Potencial de Armazenamento de Água no solo</i>	27
3.2.3 <i>Propriedades do Solo</i>	29
4. MATERIAL E MÉTODOS	31
4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	31
4.2 DADOS BASE	32
4.3 ANÁLISE ESPACIAL	40
4.4 METODOLOGIA	42
4.4.1 <i>Metodologia para a criação dos rasters</i>	45
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
5.1 ANÁLISE DA ÁREA.....	52
6 CONCLUSÕES	60
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

1 INTRODUÇÃO-

O grande desenvolvimento das Regiões Metropolitanas vem causando modificações nos usos do solo e a intensificação do uso de seus recursos hídricos. As partes florestadas passaram a ser substituídas por áreas urbanas ou modificadas antropicamente, enquanto a demanda pelos recursos hídricos diversificou-se e cresceu. Ao mesmo tempo, advieram impactos causados pela modificação das componentes e processos do sistema bacia hidrográfica, criando um quadro de incertezas quanto ao atendimento das demandas atuais e futuras relativas à proteção ambiental, o que por sua vez gera demanda social quanto à gestão dos recursos hidrológicos.

Para existir um uso sustentável de todos os recursos naturais, o homem precisou aperfeiçoar tecnologias e conhecimentos que pudessem tratar as entidades ambientais, não somente do ponto de vista estritamente ambiental, como também do ponto de vista locacional e de organização de atributos. O tratamento das informações espaciais é requisito necessário para controlar e ordenar a ocupação das unidades físicas do meio ambiente, tão pressionadas por decisões que se contrapõem a uma lógica racional de uso.

Assim, dados de natureza ambiental podem ser modelados e utilizados sob a ótica de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), definido, segundo Burrough (1986), como um conjunto de ferramentas para agrupar ou armazenar, recuperar, transformar e apresentar dados espaciais do mundo real. Esses sistemas são instrumentos de programação das ações integradas, de controle e de gestão do meio ambiente (Paredes, 1994) que manipulam dados de diversas fontes e formatos, servindo como auxílio na tomada de decisões.

Nesse contexto é que, ao tratar do processo de armazenamento da água no âmbito da dinâmica de atenuação de eventos de precipitação e do uso dos recursos naturais da bacia hidrográfica urbanizada, insere-se o presente trabalho. A premissa é a de que os usos da terra, ao modificarem as componentes e processos da função hidrológica de armazenagem de água na bacia, podem modificar também suas respostas. Com o objetivo de fazer uma análise ambiental dos recursos naturais renováveis, em especial a água, utilizou-se o SIG como ferramenta. Considerando o

alto grau de modificação do meio ambiente na região, trabalhou-se uma bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Curitiba, a bacia do Rio Canguiri.

O trabalho aqui apresentado busca apresentar os elementos que compõem o ciclo de trabalho para que se utilizem mecanismos de análises espaciais e dados físicos diversos de forma a modelar componentes específicos de uma análise ambiental, no que diz respeito ao armazenamento de água em uma bacia. A metodologia demonstrada envolve a classificação do tipo e do uso dos solos para gerar a capacidade potencial de armazenamento de água para a bacia hidrográfica como forma de se poder estudar o grau de compactação no solo. Para tanto se faz necessário um estudo dos componentes como a geologia, a pedologia, o clima, a geomorfologia, a declividade, a vegetação e o uso do solo, de forma que o potencial de armazenamento fosse reconhecido automaticamente através de operações de relacionamento entre os dados coletados.

Dentro do ambiente do Sistema de Informações Geográficas, a manipulação dos dados toma a forma de um conjunto de operações algébricas que resultam em mapa numérico que configura a estrutura da estatística espacial e da modelagem cartográfica, permitindo a análise simultânea de várias camadas ou *layers* de mapas (HISCOCK et al, 1995). Chiaranda (2002) identifica as fases de um processo de análise espacial utilizando um SIG, para a análise hidrológica, da seguinte forma:

- Fase I – Constituição de banco de dados
- Fase II – Processamento de Dados
- Fase III – Modelagem para integração

Os dados armazenados no SIG constituem uma ferramenta útil na geração de modelos para precisão de dados distribuídos espacialmente. Um modelo é uma estruturação simplificada da realidade apresentando, de forma generalizada, características importantes permitindo o aparecimento de aspectos fundamentais da realidade. Assim, um modelo pode ser definido como uma expressão formal de relações entre entidades de termos físicos ou matemáticos (ROSA, 2004)

O desenvolvimento de um modelo envolve a simulação de fenômenos complexos utilizando a combinação de informações espaciais e não espaciais. Esta abordagem tipicamente requer um especialista na área de conhecimento. Na simulação existem em geral três fases que são classificadas como ajuste: fase onde os parâmetros devem ser identificados e

avaliados; verificação: utilização do modelo já calibrado; e aplicação: fase em que o modelo é usado para representar situações onde se desconhece a saída do sistema (ROSA, 2004).

Assim, pelas informações coletadas dos componentes estrutura-se a base cartográfica de dados sobre a real condição em que o local de estudo se encontra e assim definir o potencial hídrico. Feito o processamento de dados e a modelagem tem-se como temas finais o potencial de armazenamento do meio poroso; capacidade potencial original de armazenamento da bacia; expressão hidrológica dos componentes e os efeitos dos usos do solo na capacidade de armazenamento de água.

Espera-se que este trabalho possa também demonstrar a aplicação de um SIG na modelagem aplicada a questões ambientais por meio do uso de um aplicativo SIG open source, tornando o processo de análise acessível a analistas ambientais que procurem uma ferramenta de baixo custo que auxilie o monitoramento de áreas específicas e facilite o desenvolvimento de projetos de preservação dos recursos naturais.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Modelar e analisar dados espaciais da Bacia Hidrográfica do rio Canguiri, Região Metropolitana de Curitiba, PR, para o estudo do potencial de armazenamento do meio poroso, demonstrando o uso de um SIG open source para a geração de dados e mapas que representem fenômenos relativos ao uso do solo na região.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) Construir uma base de dados em função das componentes, geologia, pedologia, declividade, uso do solo e fitogeografia, levando-se em consideração aspectos relativos à escala e resolução espacial para a análise proposta;
- b) Determinar a expressão hidrológica das componentes estruturais e o potencial de armazenamento do meio poroso para utilização em um Sistema de Informações de Geográficas;
- c) Gerar mapas demonstrativos dos diferentes critérios usados no modelo.
- d) Comparar e discutir os resultados advindos da geração de três diferentes resoluções espaciais dos dados matriciais usados no modelo proposto.

O trabalho está organizado em 7 capítulos. O primeiro fez uma breve introdução do que aqui será tratado; o segundo descreve os objetivos do trabalho; o terceiro constitui-se na revisão de literatura que aborda. O quarto capítulo descreve a metodologia utilizada; o quinto capítulo aborda os resultados obtidos e as discussões a respeito. No sexto capítulo estão as conclusões e no sétimo estão as referências bibliográficas utilizadas no texto.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os capítulos que dividem a revisão bibliográfica irão explicar, de forma sucinta, o que é a análise espacial, qual sua importância no SIG e suas funções e a sua influência do tamanho do pixel, usando dados do tipo *raster*. Uma breve descrição também será feita sobre hidrologia aplicada a modelagem, o que é bacia hidrográfica e suas funções, capacidade de armazenamento de água no solo e as propriedades, físicas e químicas, do solo.

3.1 ANÁLISE ESPACIAL

Hoje é comum se ouvir falar em Sistemas de Informação (SI) em diversas áreas do conhecimento. De forma pioneira, no campo das Geotecnologias, desde a década de 1980, Sistemas de Informações Geográficas (SIG) em conjunto com funcionalidades computacionais para tratamento e organização de dados, vêm sendo utilizados de forma a ampliar o leque de ferramentas para compreensão e análise do mundo em nossa volta.

De acordo com Paredes (1994) SI é um sistema de processamento de dados cuja função é promover informação ao usuário de modo a executar ou adotar decisões na pesquisa, no planejamento e no gerenciamento. Já o SIG, uma extensão do SI, segundo o mesmo autor, é um instrumento de programação das

ações integradas, de controle e de gestão sobre os processos ambientais, econômicos e sociais.

Inerente ao ser humano bem como aos processos do meio físico terrestre está o conceito e determinação de localizações espaciais. Este conceito está intimamente ligado à forma e as dimensões do planeta e de seus espaços físicos em conjunto com a percepção espacial humana. No que diz respeito aos sistemas criados pelo homem para automatizar e tornar mais eficientes a sua relação com a locação espacial. Uma das características marcantes que diferenciam os SIG dos SI convencionais é a capacidade de realizar, o que é comumente chamado de, análise espacial.

De acordo com Bailey (1994, APUD Rocha, 2004) a análise espacial é definida como uma ferramenta que possibilita manipular dados espaciais de diferentes formas e extrair conhecimento adicional como resposta. Este processo inclui funções básicas como a consulta de informações espaciais dentro de áreas de interesse definidas, manipulação de mapas e a produção de alguns breves sumários estatísticos; incorporando também funções como a investigação de padrões e relacionamentos dos dados na região de interesse, buscando assim, um melhor entendimento do fenômeno e a possibilidade de se fazer predições. Unwir (1981, citado por Paredes, 1994) ressalta que a análise espacial é o processo computacional relacionado à classificação de dados espaciais estruturados em pontos, linhas, áreas e superfícies.

A análise espacial tem como princípio medir propriedades e relacionamentos de entidades reais, considerando a localização geográfica no processo analítico descritivo e/ou inferencial do espaço (CÂMARA *et al.*, 2002). Ainda conforme os mesmos autores, o conceito fundamental para o entendimento da análise espacial está diretamente ligado à dependência espacial, ou seja, esta dependência espacial leva a uma perda do poder explicativo da inferência estatística convencional, a qual supõe dados que exibem independências.

De acordo com Meneses (2003) a análise espacial supre as deficiências da estatística inferencial convencional através de duas vertentes principais: a estatística espacial, a qual gera modelos matemáticos de distribuição e correlação, os quais incorporam propriedades de significância e incerteza, resultantes da dimensão espacial; e a geocomputação que usa técnicas de redes neurais, busca heurística e

autômatos celulares, para explorar grandes bases de dados e gerar resultados empíricos (não exatos), proporcionando, desta forma, maior credibilidade a realidade modelada.

A ênfase da análise espacial, conforme Câmara *et al.* (2002) é mensurar propriedades e relacionamentos, levando em conta a localização espacial do fenômeno em estudo de forma explícita. Um exemplo pioneiro da análise espacial, citado por várias literaturas, o qual incorporou a categoria “espaço” às análises realizadas, diz respeito às análises feitas no século XIX por John Snow. Em Londres, em 1854, ocorreu uma epidemia de cólera trazida das Índias. Para explicar como a doença se espalhava pela cidade, duas vertentes foram consideradas: a primeira relaciona os miasmas concentrados nas regiões baixas e pantanosas das cidades, e a segunda, que considera a ingestão de água insalubre. Assim, uma das análises realizadas procura, por meio da construção de um mapa (Figura 3.1) aferir que a localização de uma das bombas de água que abastecia a cidade formava o centro geográfico da área da cidade em processo de epidemia. Estudos posteriores confirmaram a hipótese do epicentro da epidemia ser a bomba e, o levantamento de dados de campo permitiu conhecer a localização exata do ponto do poço de água à jusante da cidade, em área com alta concentração de dejetos, inclusive de pacientes coléricos.

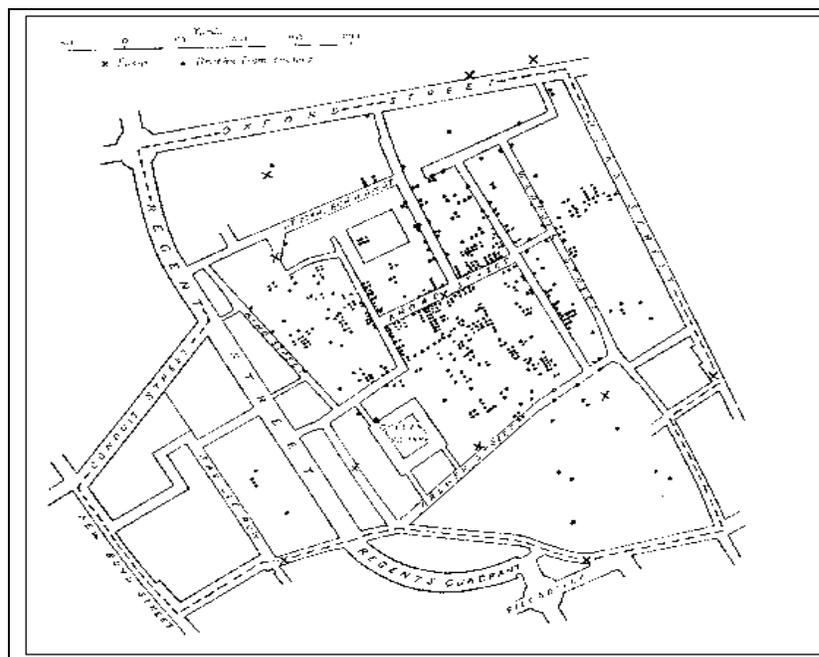


Figura 3.1 – Mapa de Londres com óbitos por cólera, identificados por pontos, e poços de água, identificados por cruzes.

Fonte: Câmara *et al.* (2002).

Os problemas tratados pelas ferramentas da análise espacial, conforme Câmara *et al.*, (2002), abordam dados de três tipos:

- Eventos ou padrões pontuais: expressam fenômenos pontuais e tem como objetivo estudar a distribuição espacial dos pontos relacionando a ocorrência de eventos com características de entidades geográficas, por exemplo, localização de crimes. O objeto de interesse é a própria localização espacial dos eventos em estudo, testando hipóteses sobre o padrão observado (se é aleatório ou não). Outro caso é estabelecer o relacionamento da ocorrência de eventos com características do indivíduo, incorporando a possibilidade de haver algum fator ambiental, do qual não se dispõem dos dados;

- Superfícies contínuas: modelos elaborados a partir de amostras regulares ou não, um exemplo é a poluição sonora. O objeto da análise espacial é reproduzir a superfície da qual se retiram amostras, visando a identificação de padrões espaciais;

- Áreas com contagens e taxas agregadas: representam dados cumulativos ou médios de entidades pontuais que são associadas a unidades básicas de pesquisa. O objetivo da análise espacial é estabelecer padrões e relacionamentos espaciais entre as unidades básicas. É dividido em análise de superfície, objetivo é reconstruir a superfície da qual se retirou e mediu as amostras, por exemplo, perfis de amostra de solos de um região; e análise de áreas, onde os dados são, em grande parte, oriundos de levantamentos populacionais tais como os censos.

As relações espaciais são importantes nas aplicações geográficas, pois o seu domínio determina a importância de cada tipo de relação (CRUZ e CAMPOS, 2005). Essas relações espaciais podem ser agrupadas em três categorias:

- Topológicas: descrevem conceitos de vizinhança, incidência, sobreposição, não variando com a escala ou rotação, por exemplo, disjunto, adjacente, dentro de;

- Métricas: descrevem orientações no espaço em termos de direções e de distancia, por exemplo, norte e sul;

- De ordem: pode ser total ou parcial e são descritas por preposições, por exemplo, 'em frente a', 'acima de', 'abaixo de'.

Estas funções com base nos atributos espaciais e não espaciais da base de dados, procuram gerar simulações sobre os fenômenos do mundo real. Assim, a análise espacial permite compreensão da distribuição dos dados (análise cartográfica) advindos de fenômenos ocorridos em certa região geográfica (análise geográfica), o que é de grande utilidade para a solução de importantes questões nas mais diversas áreas.

Todos os dados manipulados e trabalhados em um SIG são chamados de dados geográficos (ou georreferenciados) que são dados espaciais cuja dimensão está associada à sua localização na superfície da terra, em um determinado instante (período de tempo). Os dados geográficos possuem três características importantes, que constituem o modo mais comum de organização em estruturas computacionais: características espaciais – geométricas, que informam a geometria e posição geográfica do fenômeno; dados não espaciais que descrevem os fenômenos; e os dados temporais, que informam o período de validade dos dados geográficos e suas variações no tempo (CRUZ e CAMPO, 2005).

3.1.1 Funções de Análise usando Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

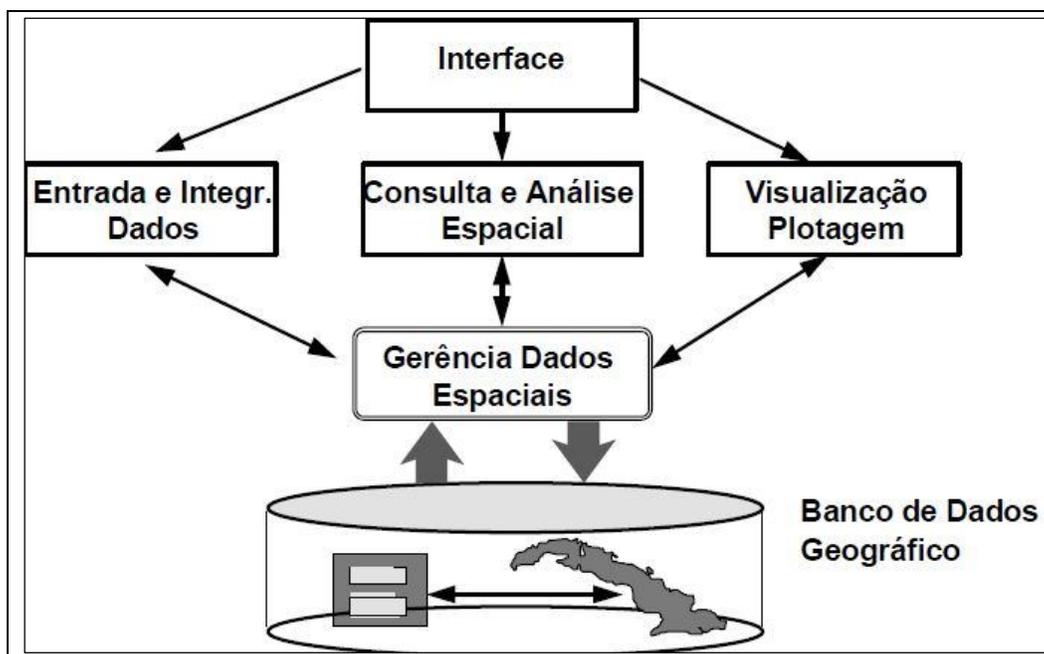
Compreender a distribuição de dados oriundos de fenômenos ocorridos no espaço constitui em um grande desafio para resolver problemas relacionados à área da saúde, meio ambiente, geologia, agronomia e quaisquer outras ciências e tecnologias que possuam o elemento espacial como um fator a ser considerado. Com a disponibilidade de vários sistemas de informação geográfica (SIG) de baixo custo e com interfaces de simples entendimento, estudos que envolvam a componente espacial vêm sendo cada vez mais comuns. Estes sistemas permitem a avaliação espacial de diversas variáveis, bastando apenas que o analista disponha de um banco de dados e de uma base cartográfica para análise.

Desde sua concepção inicial, mais simplista e voltada para a geração de mapas, os SIG têm incorporado uma crescente variedade de funções. Em especial, apresentam mecanismos sofisticados para manipulação e análise espacial de dados,

permitindo uma visualização bem mais intuitiva dos dados do que a obtida através de relatórios e gráficos convencionais.

DANTAS et al. (1996) divide a evolução do SIG em três fases: manipulação e visualização de banco de dados (primeira fase), operações analíticas de dados não gráficos e estrutura organizacionais (segunda fase) e análise espacial (terceira fase). Ainda, segundo o mesmo autor, os SIG atuais podem ser considerados como “um tipo de Sistema de Informação, que envolve de forma sistêmica e interativa Banco de Dados, Tecnologia e Pessoal, sendo capaz de realizar Análises Espaciais, armazenar, manipular, visualizar e operar dados georreferenciados para a obtenção de novas informações”.

Numa visão abrangente, conforme Câmara *et al.* (2002), pode-se dizer que a estrutura de um SIG (Figura 3.2) tem os seguintes componentes: interface com o usuário que define como o sistema é operado e controlado; entrada e interação de dados (entrada, edição, análise, visualização e saída de dados); funções de processamento gráfico e de imagens; visualização e plotagem e armazenamento e recuperação de dados.



Figur

Figura 3.2 – Estrutura de Sistemas de Informação Geográfica
Fonte: Câmara *et al.* (2002)

3.1.1.1 Funções da Análise espacial no SIG

A análise espacial no SIG dispõe de várias funções analíticas que servem à etapa exploratória ou descritiva do processo de análise espacial (MENESES, 2003). Tais algoritmos usualmente são implementados dentro de conjuntos de ferramentas nos aplicativos SIG e constituem parte importante na manipulação de dados nestes sistemas.

Segundo ARONOFF (1989), existem cinco grandes categorias de funções a considerar na análise espacial em SIG:

- Funções de acesso ou pesquisa, classificação e medição: As funções de medida têm aplicações no cálculo dos parâmetros mensuráveis dos objetos espaciais, o que faz com esta operação de análise espacial seja de grande importância em um SIG. Dentre as principais funções de medida podem ser citadas as medidas de comprimento, área e volume. Através deste conjunto de funções é possível ter acesso à informação gráfica e alfanumérica, possibilitando a realização de operações de *Query-Display* (pesquisa gráfica e pesquisa por atributos). Ao se efetuar um processo de análise espacial deste tipo só os atributos alfanuméricos podem ser criados e alterados.
- Funções de reclassificações: se baseiam em atributos temáticos ou nas propriedades topológicas dos objetos em um determinado plano de informação temático para simplificar ou generalizar uma informação, de acordo com as necessidades do usuário. A Figura (3.3) ilustra esse processo.

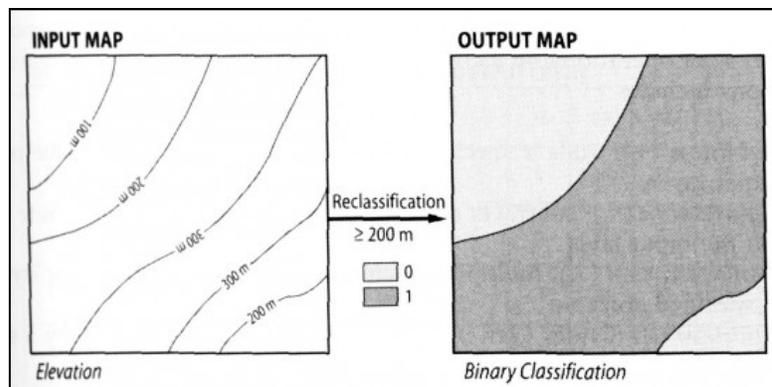


Figura 3.3 - Modelo que exemplifica a função de reclassificação

FONTE: Cordão, 2004

Nota-se que, no exemplo, um dado de altimetria que apresentava cotas que variavam entre cem e trezentos metros teve a informação desejada simplificada, dando-se destaque para região que apresentava cotas maiores ou iguais a duzentos metros.

- Funções de sobreposição de mapas: as funções de sobreposição também são conhecidas como operações de *overlay*, sendo uma das técnicas mais utilizadas para análise espacial. Nestas operações constitui um processo semelhante à manipulação de dados relacionais em tabelas e permite a realização de análises segundo uma aproximação da álgebra booleana ou da teoria dos conjuntos. Um exemplo que sintetiza o processo é mostrado na (Figura 3.4):

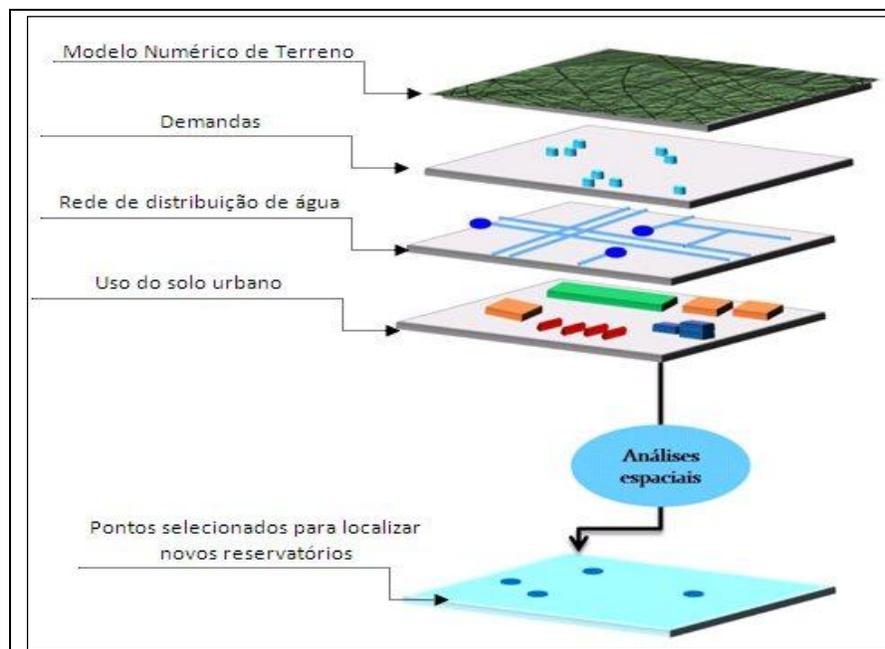


Figura 3.4 – Modelo que exemplifica a função de sobreposição de mapas

FONTE: Cordão, 2004

- Funções de Vizinhança: neste grupo as operações usualmente mais desenvolvidas são as de pesquisa, topográficas e de interpolação. A definição de funções de vizinhança envolve a análise das características da área correspondente a um local específico. Neste caso, é necessário definir o domínio de aplicação e o tipo de função a aplicar numa sequência de análise específica.

- Funções de análise de conectividade: estas funções são características da modelagem de dados matricial e caracterizam-se por permitir a descrição e a modelagem de processos de difusão e influência espacial. Também neste caso é necessário definir o domínio da aplicação deste tipo de função em relação à

vizinhança de células, recorrendo à topologia implícita de uma estrutura em quadrícula. A definição e a simulação de processos de movimento, difusão e acumulação têm de ser explicitadas na realização de uma operação de análise espacial.

3.1.2 Análise Espacial usando Dados Raster

As resoluções espaciais e temporais são importantes quando se pretende monitorar processos dinâmicos na área ambiental. A resolução espacial determina o tamanho do menor objeto que é possível representar no arquivo Raster digital, ou seja, deve ser equivalente com o tamanho do menor objeto que se deseja identificar. A resolução temporal se refere ao intervalo de tempo em dias ou horas, que o sistema demora em obter duas imagens consecutivas da mesma região sobre a Terra. A escolha da resolução temporal deve ser coerente com a escala temporal e dinamismo do processo monitorado.

Raster é um formato para armazenamento, processamento e exibição de dados gráficos em que as imagens gráficas são armazenadas como valores para as quadrículas uniformes ou pixels. Pixels é uma abreviação de elemento de imagem, o menor elemento indivisível que compõe uma imagem. Na varredura, processamento de dados é representado espacialmente em uma matriz de células da grade, chamados pixels, que são atribuídos valores para as características da imagem ou atributos. (HDF, 2006)

O modelo de dados rasters são compostos por células formadas por linhas e colunas (matriz) (Figura 3.5), sendo que essa área celular é igual a resolução espacial. Cada célula registra o valor de um objeto ou condição e não correspondem as entidades do mundo real, por exemplo, as estradas é um grupo de células e não uma única entidade (Figura 3.6), uma unidade homogênea (HDF, 2006)

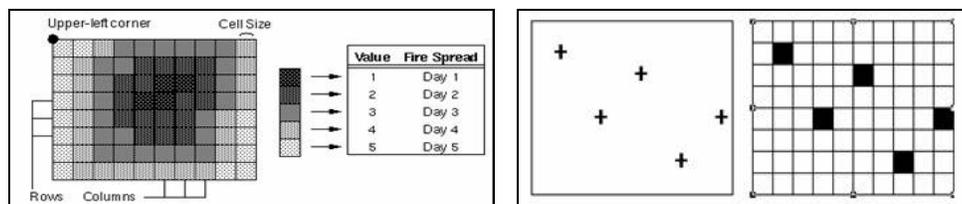


Figura 3.5 – Característica de um ponto representado em uma grade.

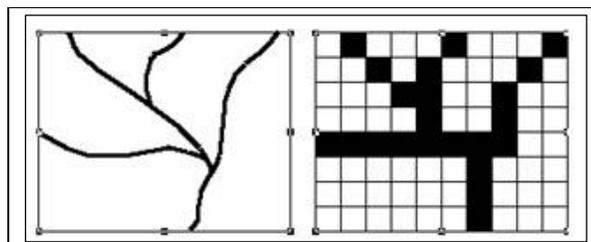


Figura 3.6: Característica da linha representada em uma grade.

Na sua forma mais simples, uma quadrícula consiste de uma matriz de células (ou pixels) organizados em linhas e colunas (ou uma grade), como mostrado nas figuras acima, onde cada célula contém um valor que representa informações, como tamanho do ponto ou da linha. Rasters são áreas digitais de fotografias, imagens de satélites, fotos digitais, ou mesmo mapas digitalizados (ESRI, 2009)

Embora a estrutura da quadrícula de dados seja simples, é extremamente útil para uma vasta gama de aplicações. Dentro de um SIG, o uso de dados raster recai em quatro categorias principais: raster como mapa base, raster como mapa de superfície, raster como mapa temático e raster como atributo de um recurso. Em conjunto com os dados raster, cada célula (que também é conhecido como um pixel) tem um valor. Os valores das células representam o fenômeno retratado pelos dados raster definido como uma categoria, magnitude, altura, ou o valor espectral. A categoria poderia ser uma classe de uso da terra como pastagens. A magnitude pode representar a poluição sonora. Altura (distância) poderia representar elevação da superfície. Valores Espectrais são usados em imagens de satélite e fotografias aéreas para representar a luz reflectância e cor (ESRI, 2009)

Os valores dos pixels podem ser positivos ou negativos, do tipo inteiro ou “ponto flutuante”. Os valores inteiros são mais utilizados para representar dados categóricos (discretos) enquanto os valores do tipo “ponto flutuante” são usados para representar superfícies contínuas. As células podem também ter um valor NODATA para representar a ausência de dados. Um valor de célula aplica-se ao ponto central da célula e para toda a área da célula (ESRI, 2009)

A dimensão dos pixels pode ser tão grande ou tão pequena quanto necessário para representar a superfície transmitida pelo conjunto de dados de varredura e as características dentro da superfície. O tamanho do pixel determina como serão os padrões ou características que o raster apresentará. Quanto menor o tamanho do pixel, mais suave ou mais detalhado será o *raster*. No entanto, quanto maior o número do pixel, o que levará mais tempo para o processamento além de aumentar a demanda por espaço de armazenamento, menor o detalhamento do *raster*. Se o tamanho de uma célula é demasiado grande, a informação pode ser perdida ou padrões sutis podem ser obscurecidos. Por exemplo, se o tamanho da célula é maior do que a largura de uma estrada, a estrada pode não existir dentro dos dados definidos na matriz. Na Figura 3.7, pode-se observar a representação do raster definido por diferentes tamanhos de pixels (ESRI, 2009)

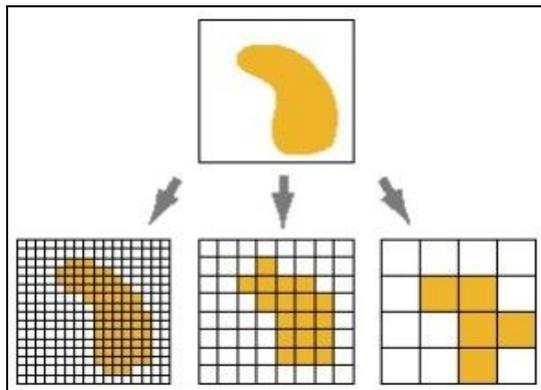


Figura 3.7: Representação do raster para diferentes tamanhos de pixels

3.2 HIDROLOGIA APLICADA À MODELAGEM ESPACIAL

3.2.1 Bacia Hidrográfica

O termo bacia hidrográfica possui vários conceitos, porém, para Teodoro *et al.* (2007), todas as definições propostas se assemelham ao conceito dado por Barrella *et al.* (2001), definindo-a como uma área delimitada pelos divisores topográficos onde as águas precipitadas são escoadas por um sistema fluvial, podendo ser drenadas através do escoamento superficial ou direto, formando os

riachos e rios, ou infiltrando nos solos formando nascentes e o sistema freáticos, lençóis freáticos.

O rio principal e seus afluentes constituem o sistema de drenagem de uma bacia hidrográfica, sendo o rio principal o elemento de maior ordem. De acordo com Villela e Mattos (1975), o grau de ramificação dentro de uma bacia hidrográfica é dado pela ordem hierárquica dos rios. Essa ordem hierárquica da bacia estará relacionada aos conceitos de bacia e sub-bacia, ou seja, cada bacia hidrográfica se interliga com outra de ordem superior, tornando-se uma sub-bacia em relação à última bacia.

Para a Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO (1992) uma bacia hidrográfica deve reportar ou expressar as suas condições ambientais, sendo descrita como um conjunto de componentes físico - químico - biológicos, ou seja, abrange atividades de diagnóstico e atividades de monitoramento e, em muitas ocasiões, devem estabelecer definições da Gestão Ambiental, articulando ações dos diferentes contextos que interagem no espaço de uma bacia hidrográfica como uma unidade sócio-econômica-política.

A bacia hidrográfica apresenta cinco funções, sendo três hidrológicas: captação, armazenamento e descarga; e duas ecológicas: meio de ocorrência para reações químicas e habitat natural para a flora e fauna (BLACK, 1997). Essas funções são descritas resumidamente como:

a) Função de Captação: é a dinâmica de captação das águas pela bacia no decorrer de um período de tempo ou evento de precipitação (CHIARANDA, 2002). A área da bacia, intensidade, duração e localização da chuva, irão determinar a quantidade de água captada pela bacia;

b) Função de Armazenamento: para Chiaranda (2002) é a retenção temporária da água precipitada pelas componentes de armazenagem. As componentes desta função são classificadas em: interceptação pela vegetação, retenção subsuperficial antes do início do escoamento superficial, detenção superficial por irregularidades do terreno e armazenagem no solo (HEWLETT, 1982);

c) Função de Descarga: é a dinâmica da liberação da água para a rede de drenagem, que é fortemente afetada pela quantidade de água mantida no solo e pela quantidade de água captada (CHIARANDA, 2002);

d) Meio de Ocorrência para Reações Químicas: é a dinâmica das reações químicas que ocorrem no meio aquoso das bacias hidrográficas. Tais reações proporcionam as interrelações fundamentais que dão suporte ao conceito de homeostase (equilíbrio dinâmico de um sistema aberto para manter uma condição estável para os seres vivos) e resiliência (capacidade de adaptação das espécies vegetais), que por sua vez desempenham papel de grande importância como mecanismo de estabilidade dos ecossistemas (BLACK, 1997);

e) Meio de habitat de flora e fauna: locais adequados para o suporte da vida aquática (BLACK, 1997).

As respostas integradas das cinco funções da bacia hidrográfica são importantes para todos os ambientes aquáticos, pois as componentes físicas das bacias atenuam os eventos de precipitação, assim como o movimento da água para fora dos sítios de armazenagem, regula a movimentação dos elementos químicos mobilizados. Assim as três funções hidrológicas e as duas funções ecológicas refletem na organização do sistema, constituindo-se na essência da hidrologia das bacias hidrográficas e da qualidade da água (CHIARANDA, 2002)

3.2.2 Potencial de Armazenamento de Água no solo

Para uma gestão sustentável dos usos múltiplos da água é necessário compreender os fatores que influenciam na sua qualidade e quantidade disponível para as pessoas. Conforme Whiteheade e Robinson (1993) estudos hidrológicos desenvolvidos em bacias hidrográficas surgiram, principalmente, da necessidade de se compreender o funcionamento dos processos que controlam os movimentos da água e os impactos relacionados à mudança do uso do solo sobre a qualidade e disponibilidade do recurso hídrico. Lang e Blachke (2009) relatam a importância de dados atuais de uso do solo para o planejamento e tomadas de decisões referentes à utilização dos recursos naturais principalmente, quando está se buscando gerar informações, a fim de facilitar o entendimento do que está acontecendo em determinada região.

A dinâmica de água no solo é um processo contínuo que controla o movimento dos elementos químicos que intervêm nos processos de formação e evolução dos solos, na disponibilidade de nutrientes para as plantas e na satisfação de demanda hídrica (MACIEL NETTO *et al.*, 200). Segundo Guerra (2002), a taxa de infiltração e a retenção de água pelo solo são importantes, pois auxiliam na definição de políticas de proteção e de conservação de água no solo.

A compreensão e a avaliação da capacidade de armazenamento de água no solo, bem como os fluxos que ocorrem na superfície (infiltração e evaporação) quanto na profundidade do solo (drenagem interna) são importantes quando se trata da drenagem, erosão do solo, poluição do solo e da água, entre outros.

O processo de infiltração depende, em maior ou menor grau, dos fatores ligados ao solo, que incluem a taxa de solo (Silva e Kato, 1997), massa específica (Sales *et al.*, 1999), teor de matéria orgânica, porosidade (Everts e Kanwar, 1992), tipo de argila, química, umidade (Araújo Filho e Ribeiro, 1996), capacidade de retenção e condutividade hidráulica.

Com o passar do tempo às classes de uso do solo da categoria natural passaram a ser substituídas pelas de categoria antrópica e a demanda pelos recursos hídricos diversificou e aumentou. Estas alterações trouxeram impactos, devido às modificações das componentes e processos dos sistemas das bacias hidrográficas. Em decorrência, criou-se um quadro de incertezas quanto ao atendimento das demandas atual e futura e quanto aos aspectos de proteção ambiental (BRAUN, 2007).

Os diversos usos da terra quando passam a modificar as componentes e os processos hidrológicos, bem como as características de porosidade e permeabilidade dos solos e rochas, interferem no armazenamento das águas dentro da bacia (BRAUN, 2007). Na forma de uma melhoria das condições de armazenamento de água em uma bacia, o controle ambiental vem a ser uma ação alternativa econômica e duradora para a minimização dos efeitos causados pelos usos da terra (GUIMARÃES, 2000).

3.2.3 Propriedades do Solo

O solo é formado por cinco principais fatores, que são eles: clima, material de origem, relevo, seres vivos e tempo. Esses fatores são os responsáveis pelos diferentes tipos de solos existentes (GUERRA e BOTELHO, 1996). Segundo o mesmo autor, solos distintos resultam de mudanças em um dos fatores acima, sem que haja variação nos demais.

O Material de origem representa o estado inicial do sistema, que pode ser uma rocha consolidada, um depósito inconsolidado ou ainda um solo preexistente, constituindo-se em elemento passivo na formação dos solos, sobre o qual atuarão outros fatores que o transformarão. Através da sua decomposição e desintegração, a rocha matriz fornece matéria prima para a formação dos solos, assumindo um papel importante na determinação das propriedades do solo. A composição mineralógica, resistência mecânica e textura são as principais características das rochas que influenciam diretamente na gênese do solo (GUERRA e BOTELHO, 1996).

O clima controla o tipo e a intensidade dos processos formadores através da energia solar, da umidade e, principalmente, da precipitação (GUERRA e BOTELHO, 1996).

O relevo controla a redistribuição de massa e energia, tornando possível diferenciar na paisagem superfícies de erosão, deposição e, ainda, superfície que resulta da ação combinada de tais processos (GUERRA e BOTELHO, 1996).

Os organismos, abióticos e bióticos, em sua combinação resultam em uma parte da formação do solo. A atividade da fauna no solo atua em superfície e profundidade contribuindo para a estruturação permeabilidade e aeração, sendo capaz de destruir horizontes, através da perda de suas características por pedoturbação (VIEIRA, 1988). A vegetação possui papel direto com o fator de formação do solo, através da sua intervenção no processo de intemperização, fragmentando a rocha, em função do crescimento das raízes e do aporte de matéria orgânica no solo (GUERRA e BOTELHO, 1996).

A idade de um solo expressa o tempo o qual atuaram os processos formadores. O tempo pode ser absoluto, ou seja, refere-se a idade cronológica ou ao

número de anos necessários para a formação do solo; e o tempo pode ser relativo, ou seja, refere-se ao grau de desenvolvimento do solo, analisado de forma qualitativa (GUERRA e BOTELHO, 1996).

Os solos possuem propriedades físicas e químicas, que interagem e podem proporcionar maior ou menor resistência aos processos erosivos. As propriedades químicas são determinadas em laboratórios. Para caracterizar quimicamente um tipo de solo deve analisar carbono orgânico, nitrogênio total, pH, cloreto de potássio, fósforo assimilável, capacidade de troca de cátions e outros. As propriedades físicas tem um papel significativo para a compreensão da erodibilidade dos solos; dentre elas o teor de argila, areia e silte, a densidade real e aparente, a porosidade, e teor e estabilidade dos agregados são as propriedades estudadas para a avaliação (GUERRA e BOTELHO, 1996).

4. MATERIAL E MÉTODOS

Neste item serão descritos os passos para a obtenção dos produtos gerados nos resultados deste trabalho, constituindo etapa a ser passível de replicação por analistas que desejem efetuar análises da mesma natureza daquela aqui representada.

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, ilustrada na Figura 4.1, bacia de drenagem do Rio Canguiri, encontra-se na Região Metropolitana de Curitiba (RMC), e abrange quatro municípios: Colombo, Pinhais, Campina Grande do Sul e Quatro Barras, os quais possuem, respectivamente, 39,91%, 31,33%, 15,27% e 13,49 % de seus territórios inseridos na Bacia do Rio Canguiri.

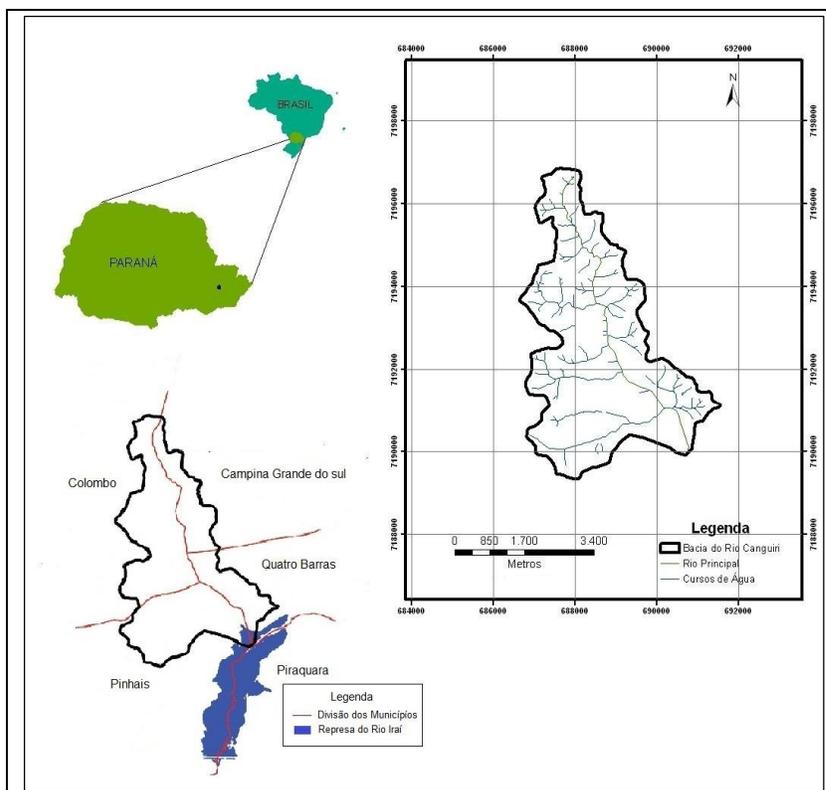


Figura 4.1: Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Canguiri
 FONTE: Bianchi, 2010

A Bacia do Rio Canguiri, com uma área de 17,94 Km², encontra-se dentro da Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Iraí sendo que parte da bacia mais ao Sul, uma área correspondente a 0,82 km² da área total, foi alagada, em 1999, com a construção da Barragem do Iraí. Está localizada na bacia hidrográfica do alto Rio Iguaçu, cercada ao Norte pela bacia hidrográfica do Rio Palmital, ao Sul pela bacia do Rio Iraí, ao Leste pela bacia do Rio Timbu, e ao Oeste pela bacia hidrográfica do Rio do Meio.

A bacia do Rio Canguiri faz parte do Primeiro Planalto Paranaense, inserida na Bacia Sedimentar de Curitiba. Está situada na região sul do Primeiro Planalto, o qual é formado pelo embasamento cristalino, de superfícies mais ou menos onduladas, com altitudes que variam entre 850 a 970 m (BIGARELLA, 1978). Conforme Bigarella; Salamuni; Marques (1961) a Bacia de Curitiba é composta por duas formações sedimentares de diferentes fases de deposição: a mais antiga denominada Formação Guabirota, constituída por argilitos e arcósios, e a mais recente compreende os depósitos das planícies de inundação e os baixos terraços que margeiam as várzeas holocênicas. Os sedimentos da Formação Guabirota são expansivos e retrativos, com suscetibilidade à erosão, e movimentos gravitacionais de massa em encostas para áreas desprotegidas de vegetação (FELIPE, 2011). Locais com origem na Formação Guabirota, como é o caso da Bacia do Rio Canguiri, tem um relevo suave, predominando morros baixos e vales abertos e assimétricos com drenagem de caráter dendrítico (JACOBS, 2002).

4.2 DADOS BASE

Para que se atenda o objetivo específico desta pesquisa relacionado à montagem da base de dados, faz-se necessário descrever a necessidade de obtenção de dados adequados ao objetivo da análise a ser efetuada. Para tal, aqui serão descritos os elementos que compõem esta base de dados e a descrição dos atributos levantados relacionados a tais dados espaciais. Os dados foram coletados ou convertidos em um sistema de coordenadas plano, projetado via sistema Universal Transversa de Mercator (UTM), na zona 22 Sul. Esta é uma projeção

cartográfica conforme aqui baseada no datum horizontal SAD 1969, sistema este utilizado como referencial geodésico de todos os dados aqui apresentados e trabalhados no SIG.

Os dados geológicos (Figura 4.2) advêm da Carta Geológica do Estado do Paraná na escala de 1:250.000, fornecida pelo Instituto de Terras, Cartografia e Geociências do Paraná (ITCG, 2010). O mesmo foi recortado de forma a trabalhar com os dados espaciais somente dentro do perímetro da bacia hidrográfica.

O Modelo digital de Terreno (MDT) representa a variação da elevação dos vários terrenos da bacia hidrográfica, com referência ao nível médio do mar. Este modelo é gerado a partir dos dados de pontos cotados e curvas de nível obtidas junto ao IPPUC – Curitiba por meio de uma interpolação de tais elementos vetoriais no formato raster. O mapa hipsométrico derivado a partir do MDT (Figura 4.3) mostra que a área de estudo possui relevo pouco acidentado, demonstrado pelas diferenças entre a menor e a maior cota topográfica, aqui, detalhadas a cada 5 metros. A declividade constitui um elemento também derivado do MDT e calculada, por meio da análise dos desníveis entre as cotas altimétricas, o valor em graus – também pode ser utilizado em unidades percentuais – entre o relevo e a superfície do plano topográfico da região. O Modelo digital do Terreno foi conseguido em formato já rasterizado, caso o usuário necessite gerar um modelo o mesmo deve usar, nos dados de curvas de nível e pontos cotados, o algoritmo de “rasterização” de dados, em escala compatível.

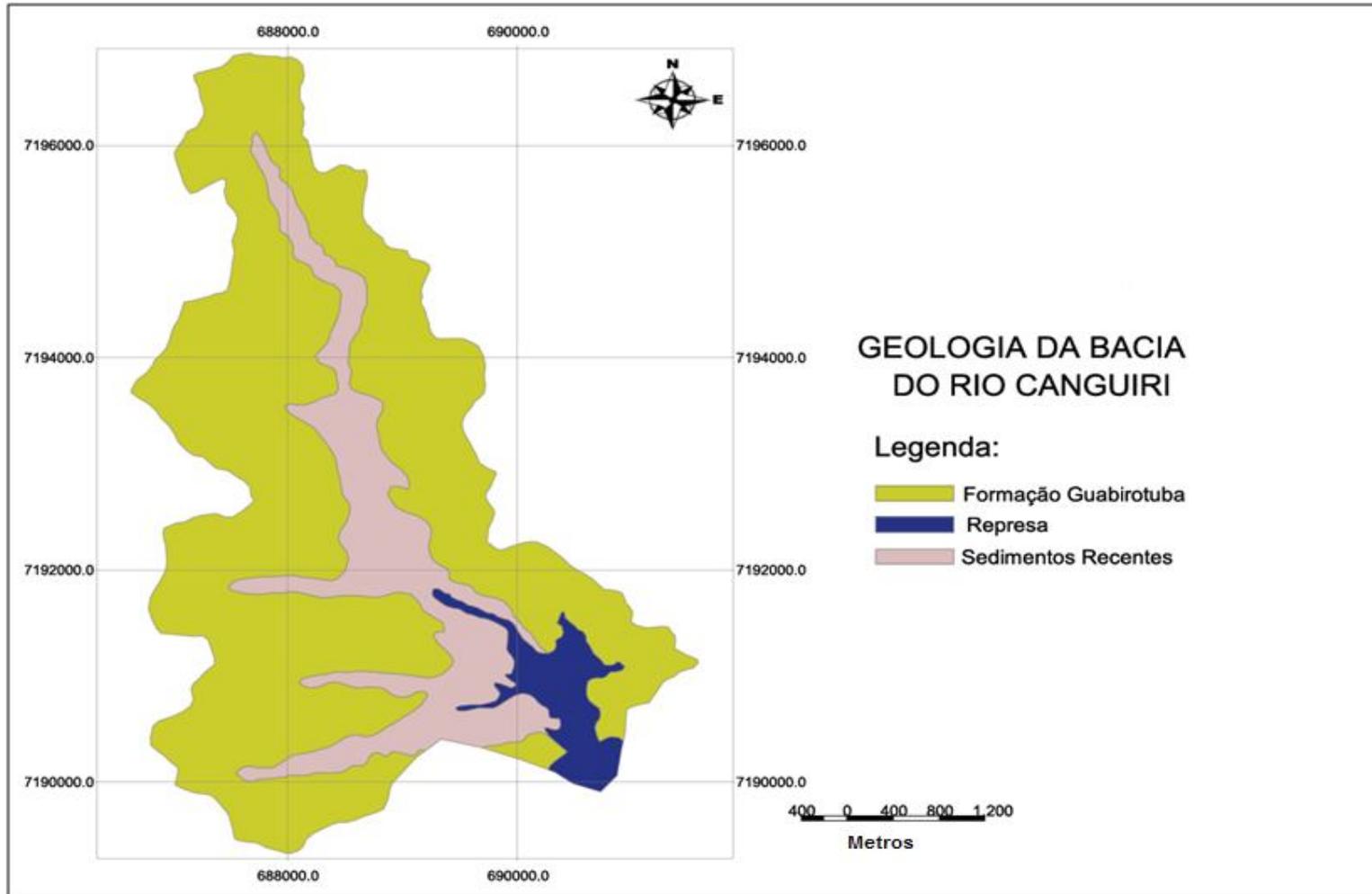


Figura 4.2: Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Canguiri
Fonte: ITCG (2010)

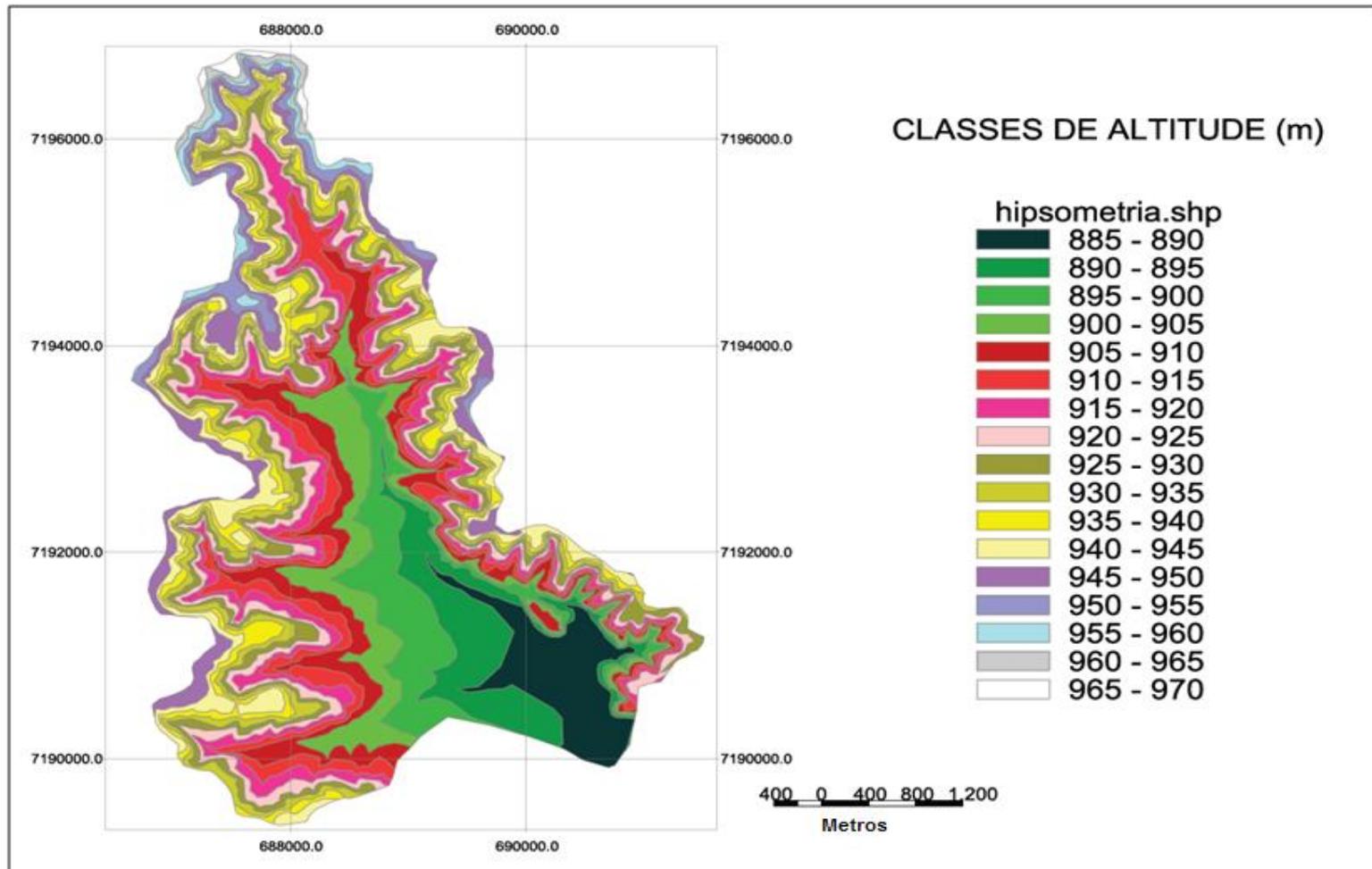


Figura 4.3: Mapa hipsométrico da Bacia Hidrográfica do Rio Canguiri.
Fonte: JACOBS (2002)

As informações e atualizações sobre as classes de solos que ocorrem na bacia foram obtidas do trabalho: MAPA DE SOLOS DO ESTADO DO PARANÁ – Legenda Atualizada: Articulação da Folha: MI-514, escala 1: 600.000, realizado pela Embrapa Florestas, Embrapa Solos e o IAPAR em 1999 (BHERING e SANTOS, 2008). A articulação da folha digitalizada no formato JPG foi georreferenciada e o resultado interseccionado com a delimitação da bacia que constitui a área de estudo, resultando em um novo dado temático (FIGURA 4.4).

Com a área da bacia hidrográfica igual a 17,94 km² pode-se estimar a porcentagem de cada tipo de solo pertencente à bacia conforme mostrado na (Tabela 4.1).

TABELA 4.1 – PORCENTAGEM DA ÁREA OCUPADA PELOS DIFERENTES TIPOS DE SOLOS

TIPO DE SOLO	ÁREA (%)
Cambissolos Úmicos alumínicos (CHa6 + CHa7)	3,18
Cambissolos Háplicos Tb distróficos (CXbd1)	26,88
Latossolos Brunos distróficos (LBd8 + LBd9)	16,23
Latossolos Brunos acrícos (LBw1)	26,53
Organossolos Háplicos (Ox1)	27,18

A descrição completa das classes de solos feita por Bhering e Santos (2008) tanto os Latossolos como os Cambissolos possuem textura argilosa. Os solos são descritos como:

- CHa6 – CAMBISSOLOS HÚMICOS Alumínicos: Associação de CAMBISSOLOS HÚMICOS Alumínicos típicos + NEOSSOLO LITÓLICO Húmico típico, álico, ambos fase campo subtropical, substrato rochas eruptivas + ORGANOSSOLOS HÁPLICOS Sáprico típico álico, fase campo subtropical de várzea, todos textura argilosa, relevo suave ondulado de vertentes curtas.
- CHa7 – CAMBISSOLOS HÚMICOS Alumínicos: CAMBISSOLO HÚMICO Alumínico típico, textura argilosa, fase campo subtropical, relevo forte ondulado, substrato filitos.

- CXbd1 – CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb Distróficos: CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb Distróficos úmbrico, textura argilosa, álico, fase floresta subtropical perenifólia, relevo suave ondulado, substrato migmatitos.
- LBd8 – LATOSSOLOS BRUNOS Distróficos: Associação de LATOSSOLO BRUNO Distrófico úmbrico + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico úmbrico, substrato sedimentos pleistocênicos, ambos textura argilosa, álicos, fase campo subtropical, relevo suave ondulado.
- LBd9 – LATOSSOLOS BRUNOS Distróficos: LATOSSOLO BRUNO Distrófico cambissólico úmbrico, textura argilosa, álicos, fase floresta subtropical perenifólia, relevo suave ondulado e ondulado.
- LBw1 – LATOSSOLOS BRUNOS Ácricos: LATOSSOLO BRUNO Ácrico úmbrico, textura argilosa, fase campo subtropical perenifólia, relevo suave ondulado.
- Ox1 – ORGANOSSOLO HÁPLICO – Indiscriminado

Por possuir solos rasos e a formação geológica Guabirota em quase toda a sua extensão, a bacia hidrográfica do Rio Canguiri, em locais sem cobertura florestal e com um mínimo de declividade, apresenta forte tendência para gerar erosões. Solos originados a partir da formação Guabirota são solos que possuem em sua constituição, preferencialmente, argilominerais, assim conhecido como “material expansivo”. São materiais que possuem limites de liquidez elevados e alta plasticidade. Quando secos são duros, mas perdem facilmente sua resistência quando absorvem água (FELIPE, 2011).

O mapa de uso do solo para o ano de 2009, Figura (4.5), foi feito com apoio de levantamento de campo e com imagem multiespectral do satélite RAPIDEYE do ano de 2009, com resolução de 5 m, providas pela empresa SENOGRAFIA Sensoriamento Remoto Ltda. A imagem foi digitalizada na projeção UTM, datum sad 69 no fuso 22ºS e classificada no programa gvSIG, exportada no formato “shape” e, no mesmo programa, convertida em mapa temático.

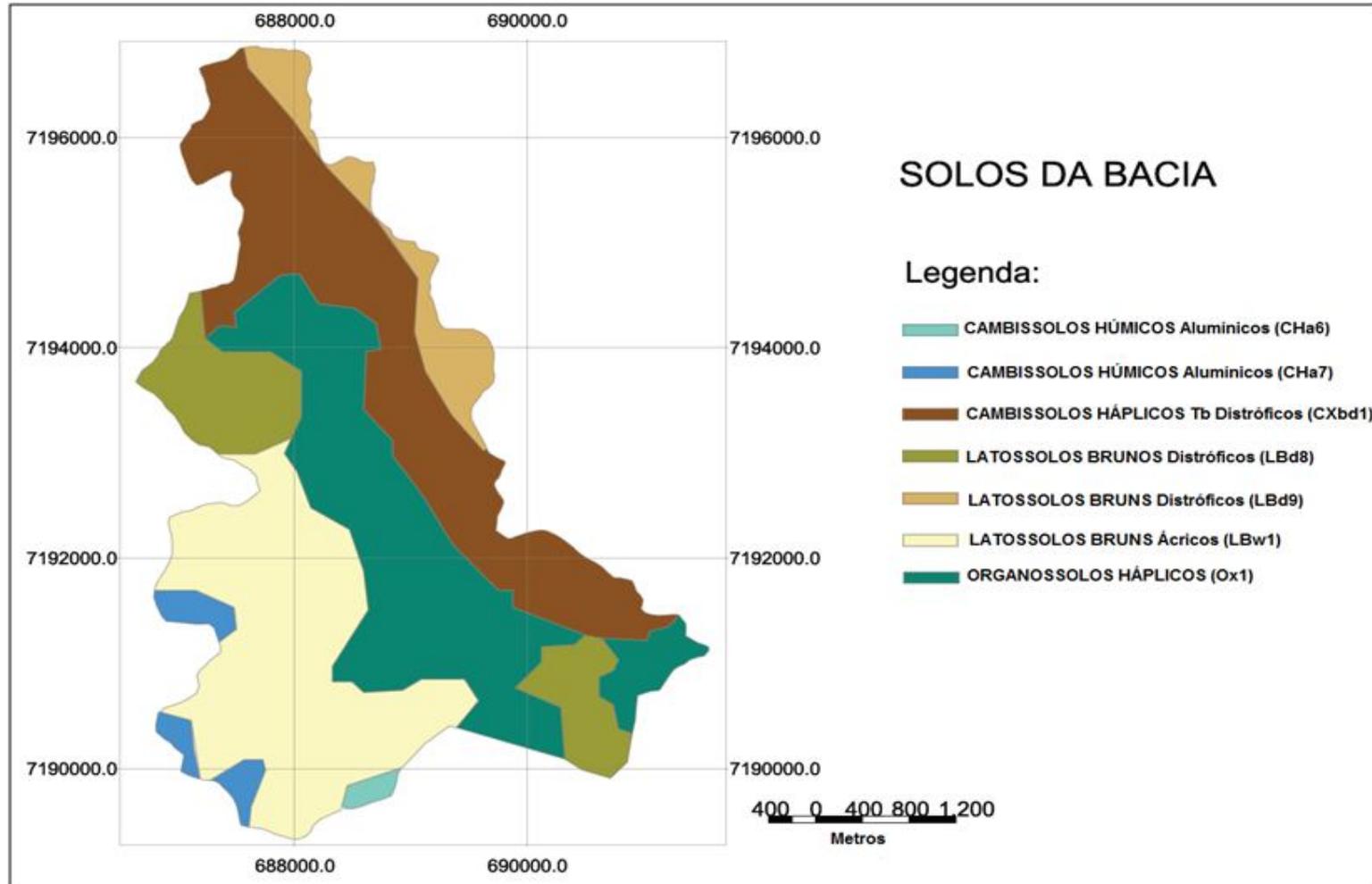


Figura 4.4 – Mapa dos Solos da Bacia Hidrográfica do Rio Canguiri
Fonte: Adaptado de BHERING e SANTOS (2008))

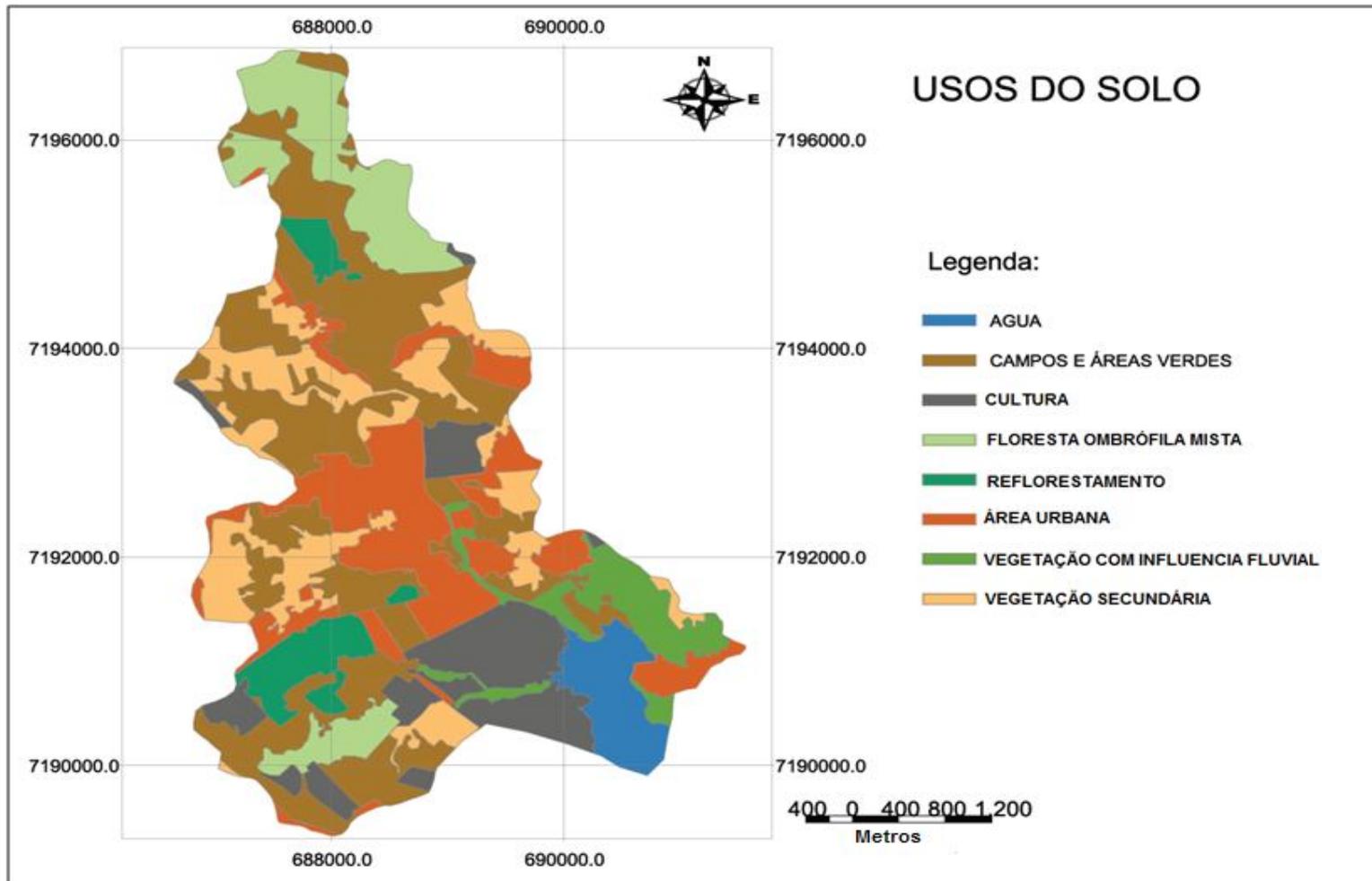


Figura 4.5 – Mapa de usos do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Canguiri para o ano de 2009
Fonte: Imagem de satélite fornecida pela Empresa Senografia (2009)

Jacobs (2002) classificou os usos da terra de todas as sub-bacias da Bacia do Alto Rio Iguaçu e as tipologias foram descritas da seguinte forma:

- TIPO I – FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA: tem como característica a ocorrência do Pinheiro-do-Paraná (*Araucaria angustifolia*). Inicialmente se formam os capões em pequenas depressões sendo sucedido pelos estágios arbóreos avançados da vegetação secundária, conhecido como capoeirão;
- TIPO II – FLORESTA OMBRÓFILA MISTA – SISTEMA DE VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA: é a vegetação que surge logo após as alterações antrópicas (destruição da floresta e abandono do terreno) e ou naturais (incêndios);
- TIPO III – REFLORESTAMENTO: povoamentos de pinus, bracatinga e eucaliptos;
- TIPO IV – ESTEPE GRAMÍNEO LENHOSA/ CAMPOS E ÁREAS VERDES: ocupam as áreas mais planas, os campos ou várzeas;
- TIPO V – FLORESTA OMBRÓFILA MISTA ALUVIAL: conhecidas como florestas de galerias, florestas bastante abertas de porte baixo com sub-bosque quase inexistente ou sem sub-bosque;
- TIPO VI – USO DA TERRA PARA AGRICULTURA: áreas de floresta que foram substituídas por áreas agrícolas, principalmente por haras, condomínios e chácaras;
- TIPO VII – ÁREAS URBANAS: área de uso intensivo, com grande parte da terra coberta por estruturas, inclui cidades, vilas, áreas de rodovias, serviços de transporte, energia e comunicação, fábricas, supermercados;

TIPO VIII – ÁREAS COM ÁGUA.

4.3 ANÁLISE ESPACIAL

O primeiro elemento a ser definido de acordo com a análise dos dados coletados e as necessidades do projeto diz respeito à escala da análise. A escolha da escala é fundamental ao propósito dos mapas a serem gerados, bem como ao tipo de informação que se pretende destacar ou minimizar.

A escala determina o nível de detalhe, menor elemento verificado, em função do espaço a ser mapeado considerando a legibilidade, a precisão e acurácia final. A

escala do produto final está ligada a resolução espacial (tamanho do pixel) que está sendo utilizada em toda a análise. Um pixel que representa 1 m², por exemplo, tem precisão planimétrica mais adequada para a identificação de uma feição, que, no terreno, ocupa uma área de valor semelhante.

Um exemplo de análise utilizando-se o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), estabelecido pelas Normas e Especificações Técnicas da Cartografia nacional pelo Decreto nº 89.817, para uma carta de classe A, conforme Comissão Nacional de Cartografia (2012), demonstra que a detectabilidade de objetos ao ser utilizados – de forma geral, como, por exemplo, na classificação automática ou no apoio à identificação de feições, uma imagem de resolução espacial de 30m é compatível com um mapa em escala 1:80.000. Já para um pixel de 10 m a melhor escala para a geração de uma carta topográfica é de 1:25.000.

Também existem as relações advindas da escala dos dados coletados em campo ou resultados de análises de outros produtos, como imagens de satélite ou interpolação de dados e o tamanho do pixel máximo resultante, sendo as mesmas relações diretas de derivação entre os dois dados. Por exemplo, se um rio, que no mundo real tem 8 km de comprimento e 4 metros de largura, será representado em um mapa com uma linha de 0,16 mm de espessura e de 32 cm de comprimento, por meio de um mapa na escala de 1:25.000. Significa que, se a estrada possui menos de 5 metros de largura, e tudo que está ali com este mesmo tamanho, não fará diferença na representação, de forma que no mapa, se tornará apenas uma linha enquanto que no mundo real é representado por dois eixos em paralelo.

Porém, apesar de se conhecerem as relações biunívocas advindas da análise do tamanho do pixel e a escala de mapas gerados, faz-se necessário entender como a resolução espacial pode afetar a classificação dos dados específicos de uma análise ambiental.

Uma das grandes vantagens da utilização da estrutura matricial (raster) diz respeito à facilidade de implementação das operações de superposição de níveis de informação. A superposição nada mais é do que operações matemáticas entre matrizes, combinando as células de mesma posição (linha e coluna), nos diversos níveis de informação.

Os dados de menor escala, como os dados base geologia e tipo de solo, tem menor influência quando trabalhados juntos com dados de maior escala, como no

caso do Trabalho, a hipsometria e o uso do solo. Por isso há a possibilidade de usar uma alta resolução espacial, com o pixel de dimensão de 100 metros trabalhado. A escala dos dados base, aqui utilizados, influenciarão de formas distintas nessa superposição para as diferentes resoluções dos rasters gerados. A geologia e o tipo de solo, por terem escalas menores, terão pouca influencia no modelo final do raster tanto no potencial de armazenamento do meio poroso como no potencial de armazenamento do solo.

Assim, para se obter a capacidade potencial de infiltração do solo, serão testados utilizando-se, no modelo, diferentes tamanhos de pixels (10, 50 e 100 metros). Dessa forma, a geração de rasters para análise obedecerá aos tamanhos de pixel supracitados, de forma que se possam verificar quais os efeitos, em termos de quantitativos de áreas e de entendimento geral da situação, na percepção do analista, se a alteração da resolução espacial leva a diferenças significativas entre os produtos gerados.

4.4 MÉTODOLOGIA

Para o desenvolvimento do projeto foi utilizado o software open source gvSIG. 1.11 e os algoritmos da ferramenta sextante do toolbox. Estabelecida a área para o estudo, foram feitos os mapas base, que são: a geologia, o uso do solo, a altimetria, solo, e fitogeografia. Assim, para o projeto, foram criadas as classes representadas na (TABELA 4.2)

TABELA 4.2 – CLASSES CRIADAS PARA OS DIFERENTES MAPAS BASE

CATEGORIA	MODELO	CLASSES
Geologia	Temático	Formação Guabirota; Corpo Hídrico; Sedimentos
Declividade	MNT	Graus: (0-10), (10-20), (20-30), (30-40), (40-50), (50-60) e (60-70)
Solos	Temático	CHa6, CHa7, CXbd1, LBd8, LBd9, LBw1, OX1
Uso do Solo	Temático	Tipo I, Tipo II, Tipo III, Tipo IV, Tipo V, Tipo VI, Tipo VII e Tipo VIII

A metodologia divide o desenvolvimento da pesquisa em três partes, como pode ser observado na (FIGURA 4.6):

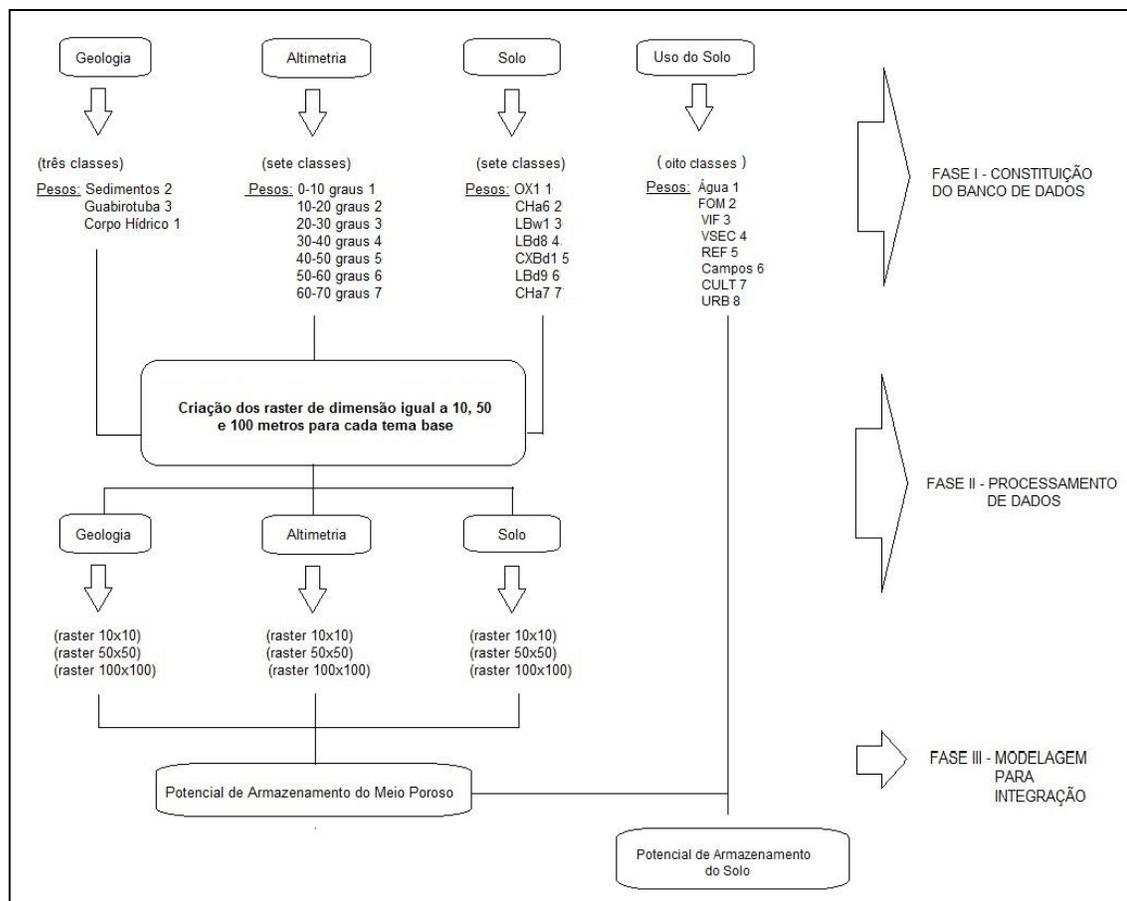


Figura 4.6: Fluxograma da Metodologia Aplicada

A metodologia teve como base um modelo aplicado por Chiaranda (2002), onde obteve o mapa do potencial de armazenamento do meio poroso através da geologia, altimetria e dados de classificação do solo.

O Passo I, Constituição do banco de dados, abrange a obtenção de informações fornecidas por mapas temáticos, observações em campo (quando necessário) sobre a estrutura da paisagem e a seleção dos dados que tem valor para a pesquisa. Todos os dados utilizados foram descritos no item 4.2: Dados base.

O Passo II, Processamento de Dados, é o momento em que foram criados os rasters para os diferentes tamanhos de pixels, ou seja, raster de solos, geologia e declividade com pixel de 10, 50 e 100 metros. No passo III, Modelagem para integração dos dados, constitui a etapa onde a equação é aplicada. Como o peso relativo de cada classe é definido no momento em que se atribuem os valores de

cada classe, na etapa de rasterização dos dados, a equação final constitui apenas na multiplicação de cada um dos layers, como descrito na Equação (4.1) para o mapa de potencial de armazenamento do meio poroso e Equação (4.2) potencial para o solo:

$$PAMP = \text{vetor solo} * \text{vetor geologia} * \text{vetor declividade} \quad (4.1)$$

$$PAS = PAMP * \text{vetor uso do solo} \quad (4.2)$$

onde:

PAMP = Mapa de Potencial de Armazenamento do Meio Poroso;

PAS = Mapa de Potencial de Armazenamento do Solo.

Todo o processo de utilização de software para cada uma das três etapas será apresentado na discussão dos resultados. Na modelagem foram estabelecidas as generalizações possíveis, os dados puros deixam de serem informações factuais ou numéricas e assumem caráter significativo em nível de interpretação.

A integração dos dados ocorrido nessa fase através da ponderação entre os elementos das classes resultam nos mapas de potencial, com intervalos que variam de 0 a 80 % na influencia do potencial de armazenamento de água no meio poroso (TABELA 4.3).

TABELA 4.3 – INTERVALO DE CLASSES ANALISADAS NO POTENCIAL DE ARMAZEMANENTO DO MEIO PORSOS

Intervalos	Classes
1 - 2	Muito baixa
2 - 3	Baixa
3 - 4	Média
4 - 5	Alta
5 - 6	Muito Alta
7	Altíssima

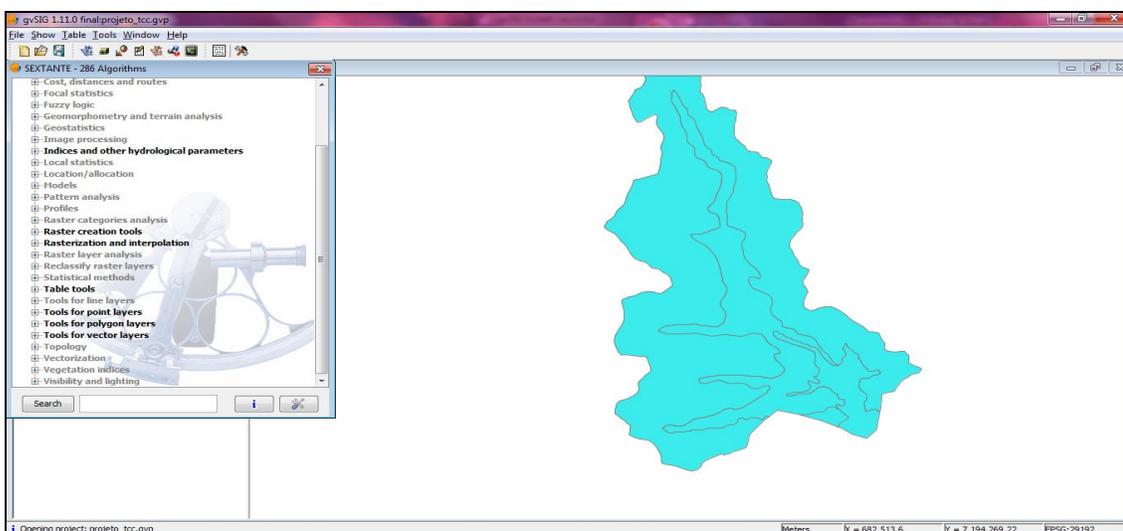
Intervalos a baixo da média são resultados de que o potencial de armazenamento do meio poroso ocorre com grande frequência, ou seja, a infiltração no solo ocorre com facilidade. Acima do potencial médio, já algumas dificuldades para que ocorra a infiltração ou armazenamento de água no solo ou meio poroso.

Por exemplo, classe de 10 – 20, baixíssima, representa que pouca água escoa e o maior volume se armazena no meio poroso.

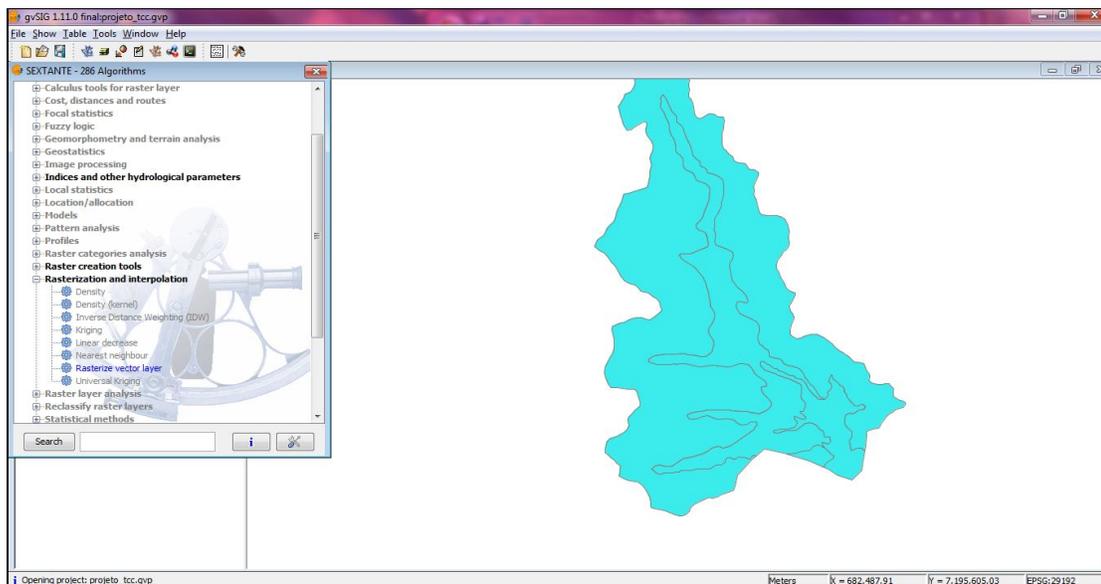
4.4.1 Procedimentos Metodológicos para a criação dos rasters

A conversão dos vetores em rasters foram feitos no software gvSIG 1.11 para dimensão do pixel igual a 10, 50 e 100 metros., conforme os seguintes passos:

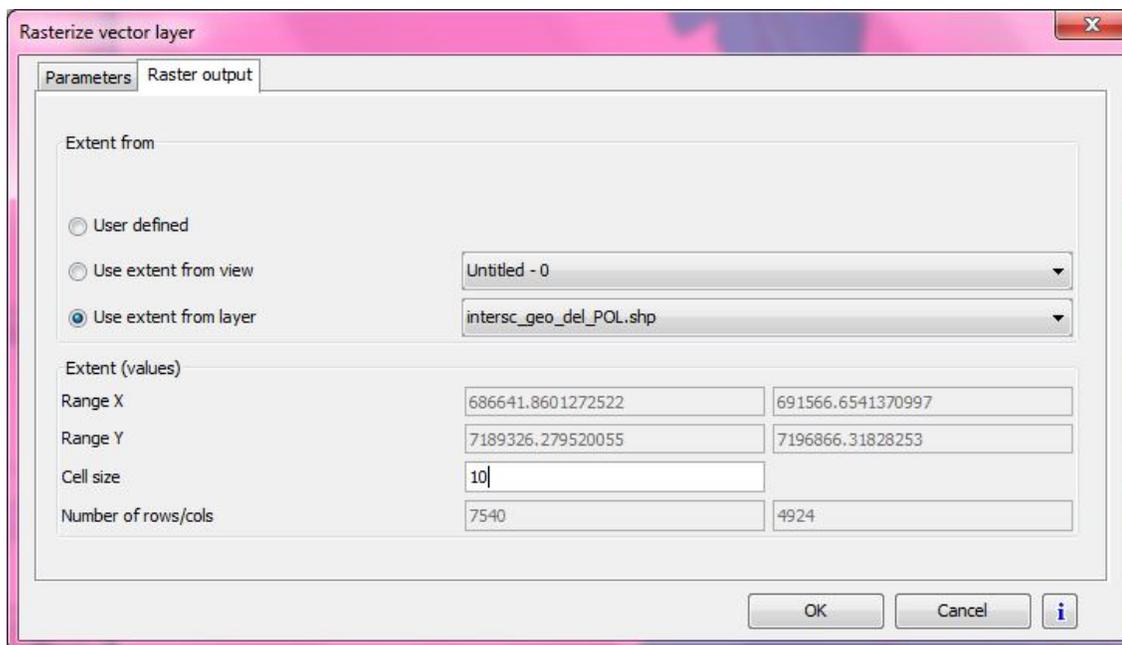
- Passo 1: abra o sextante toolbox:



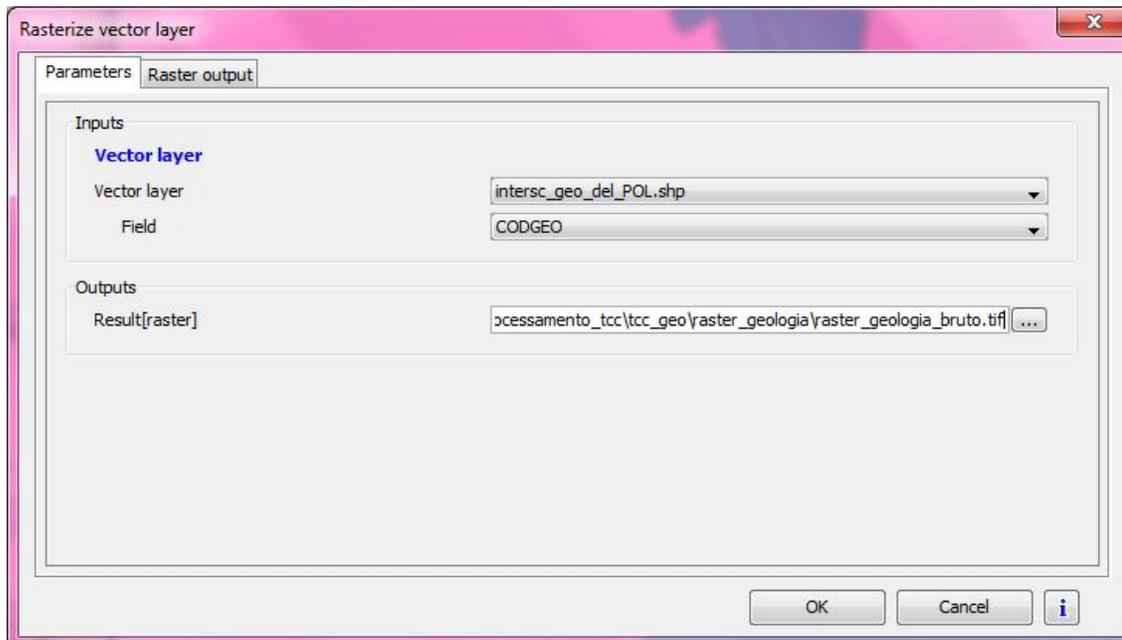
- Passo 2: abra o algoritmo rasterization and interpolation e vá na ferramenta rasterize vector layer:



- Passo 3: ir em “*raster output*” ir na opção “*use extent from layer*” e configurar o cell size no pixel que desejar:



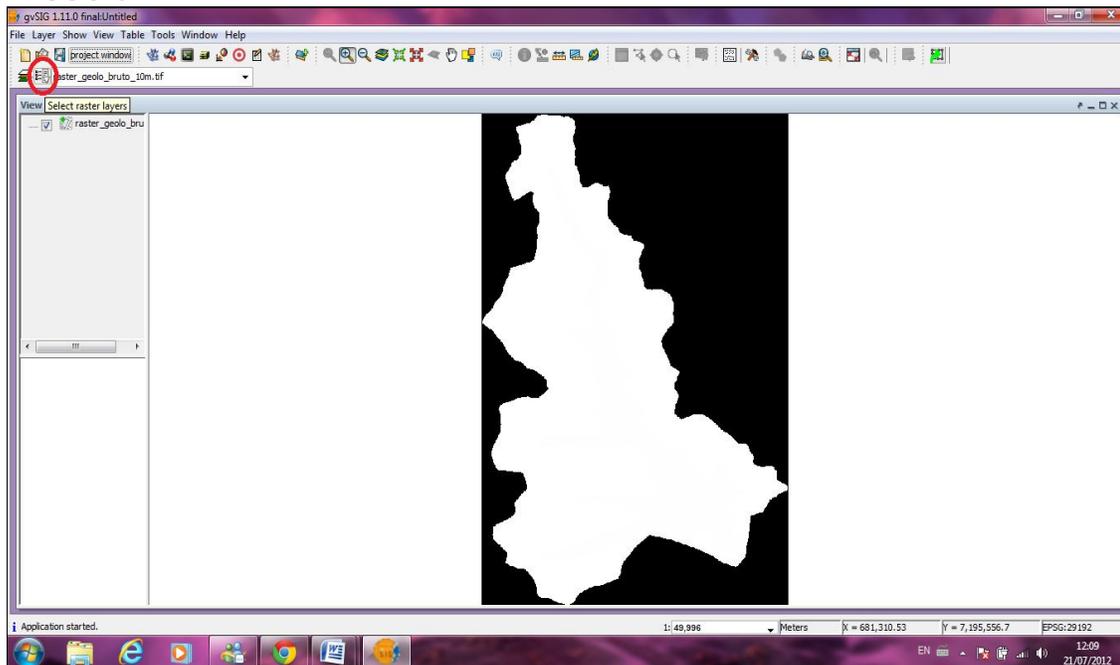
- Passo 4: em Parameters deixar opção Field com o campo do dado vetorial, no caso aqui foi classe, que contem os atributos descritivos de cada classe do tema . Na opção result(raster) salvar o arquivo no formato tif.



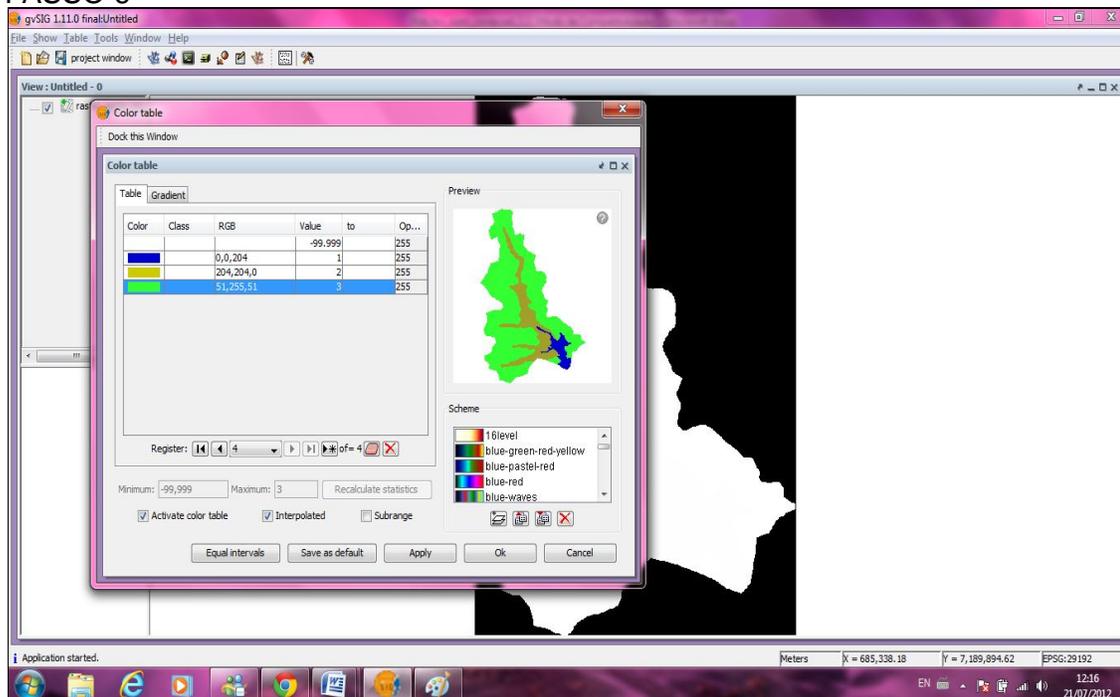
- Passo 5 e 6: Na opção “*select raster layer,*” ir em “*color lable*”. Marque a opção “*active color table*” e desmarque a opção “*subrange*”. Delete todas as classe

que abrirem com o (x) que aparecer e classificar, conforme a classe estipulada, os valores para visualizar os resultados com as classes. Não esquecer de observar que no campo minimum deve estar aparecendo -99.999, que significa valor zero, e no campo maximum o número da classe estipulada.

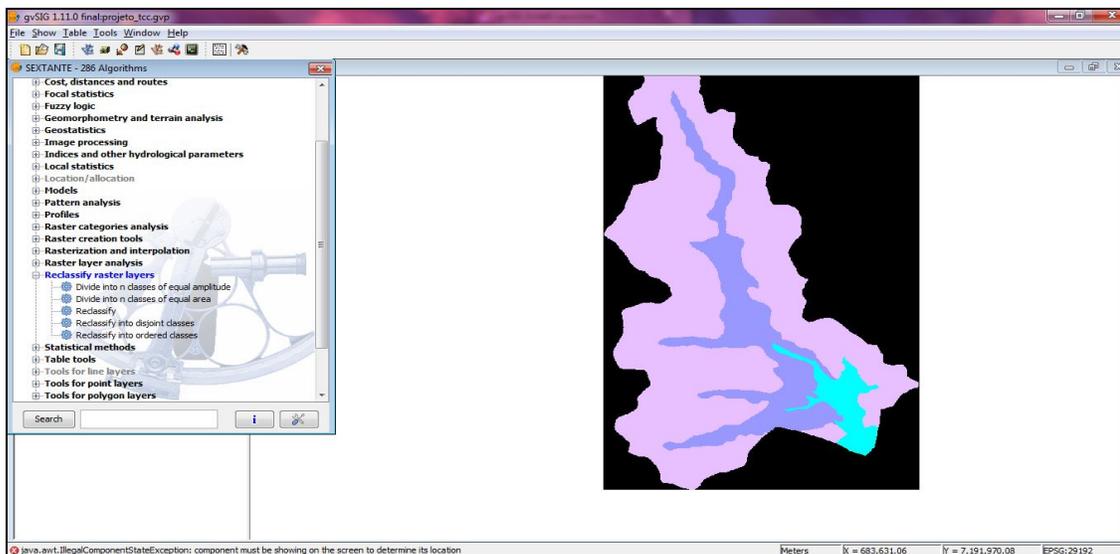
PASSO 5



PASSO 6

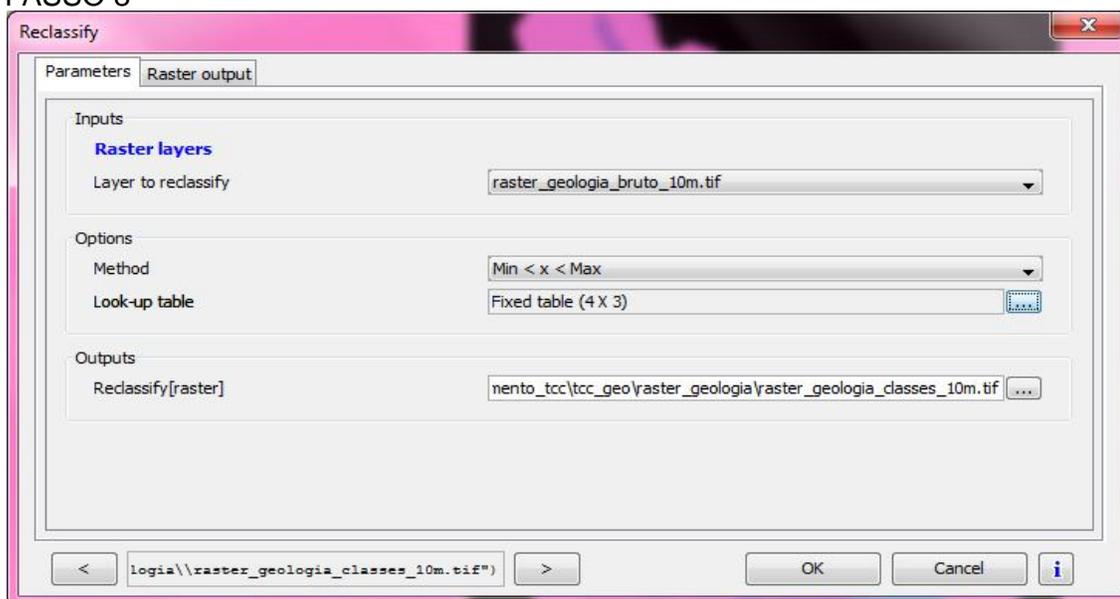


- Passo 7: feito o arquivo bruto de raster, excluir o arquivo que abre diretamente no programa e abrir o arquivo salvo. Só depois ir no Sextante em algoritmo “*reclassify raster layers*” na “*feramenta reclassify*”.

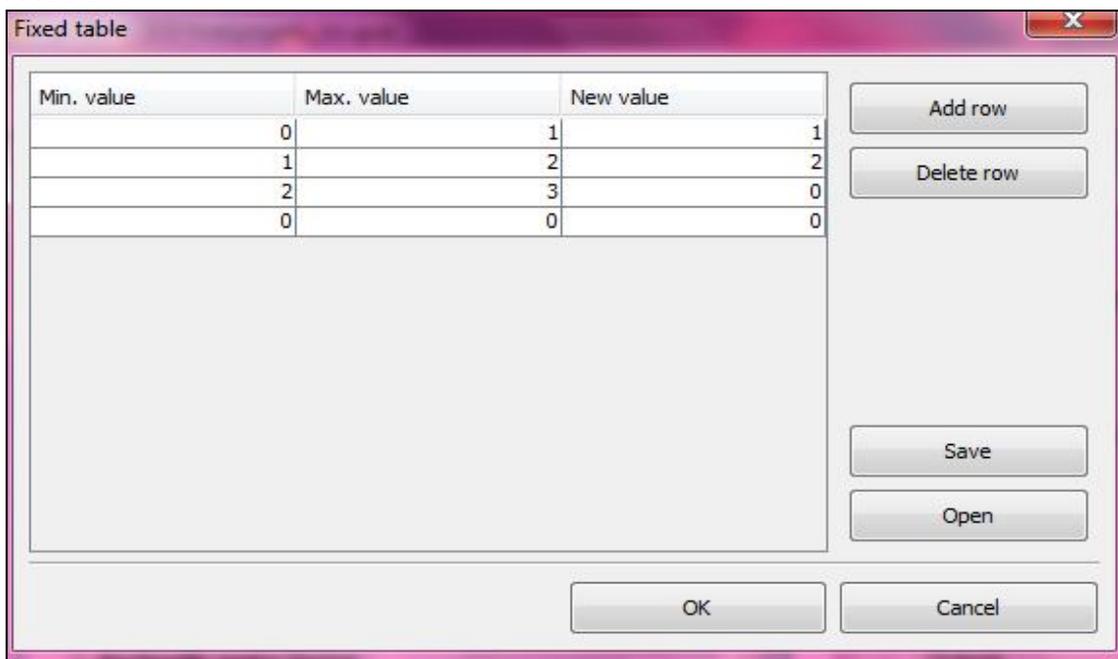


- Passo 8 e 9: em parameters abrir o raster bruto no campo “*layer to reclassify*”, no campo “*Method*” escolher $\text{min} < x < \text{Max}$; no campo “*Look-up table*” vai abrir um área chamada “*Fixed table*”, reclassificar as classes com os valores escolhidos, com valor zero para mínimo e 3 para máximo, no caso foi o peso da classe

PASSO 8

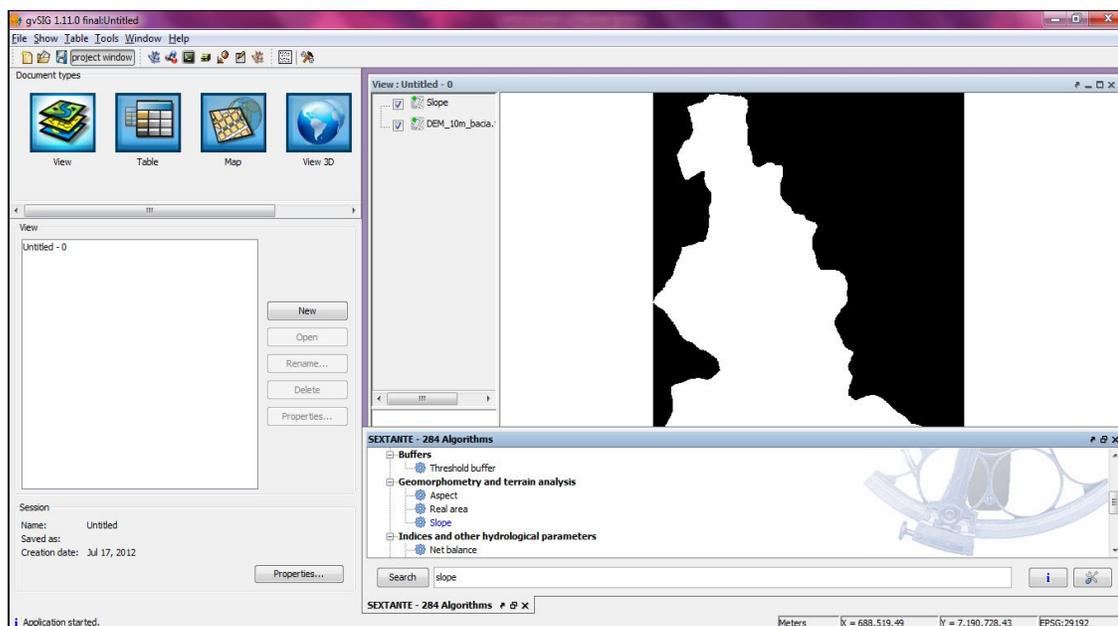


PASSO 9

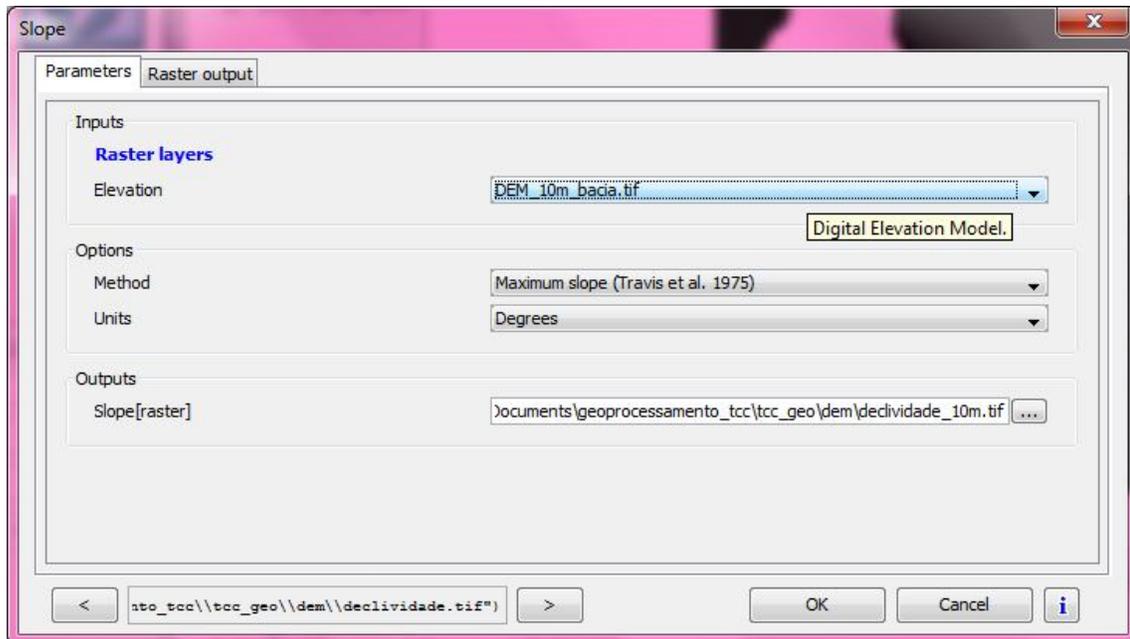


O modelo digital do terreno, como dito anteriormente, foi obtido em formato já rasterizado. Para obter o raster de declividade:

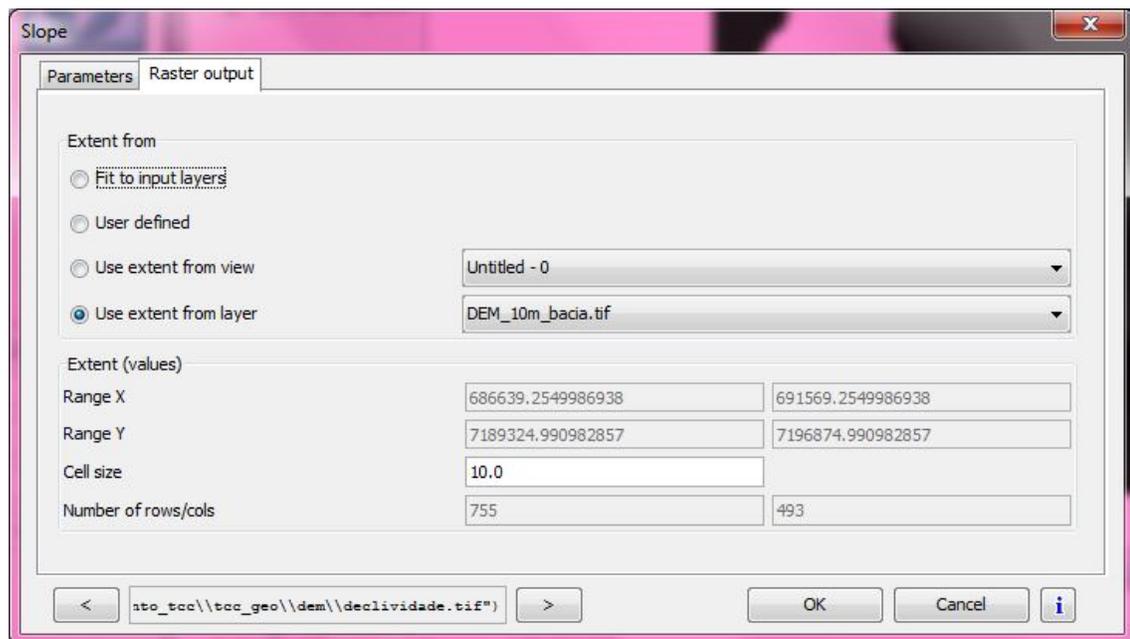
- Passo 1: com o raster de Altimetria aberto ir em sextante no algoritmo “*Geomorphometry and terrain analysis*” e na ferramenta “*slope*”.



- Passo2a: no local Parameters na opção methodo escolher “*maximum slope (traviset al. 1975)*” e “*units degrees*”.

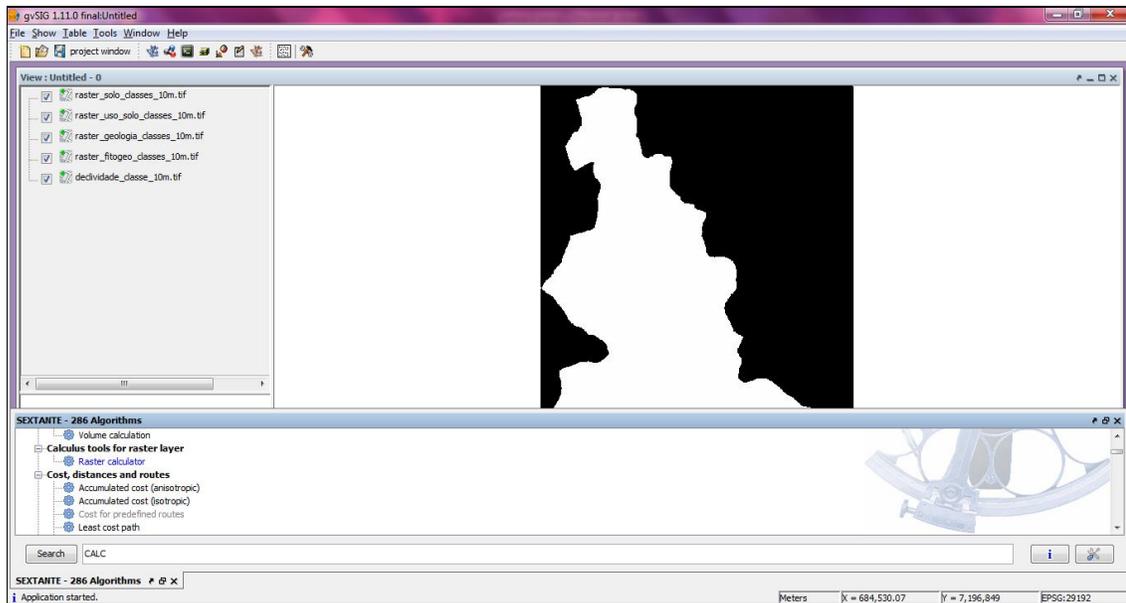


• Passo 2b: em “*raster output*” definir use “*extente layer*” e definir os pixel 10, 50 ou 100.

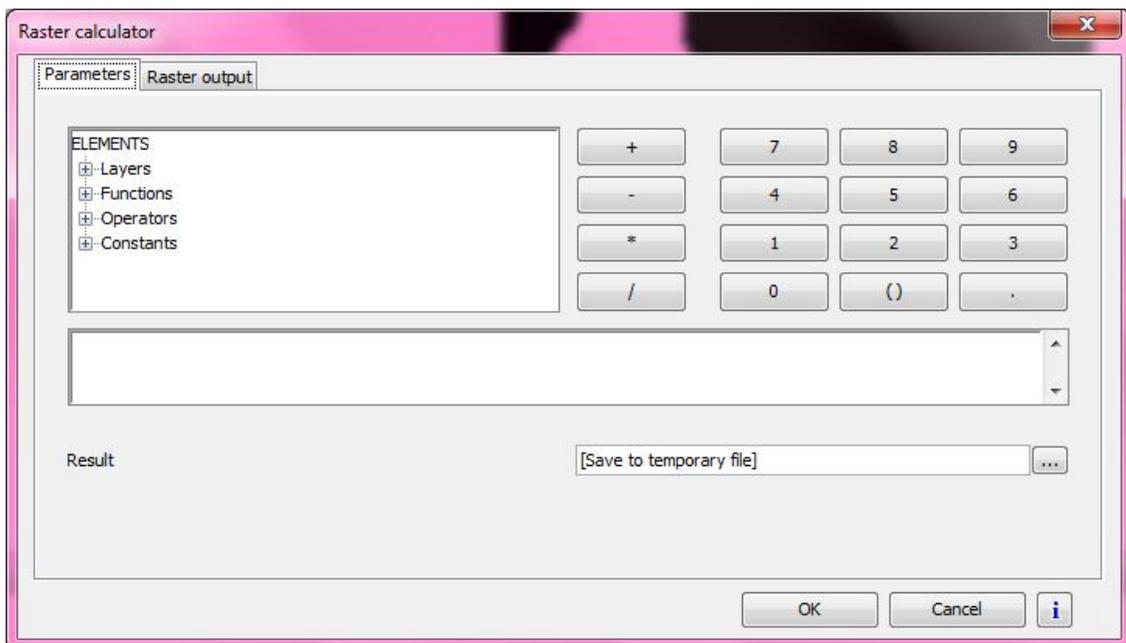


Feito todo o processamento dos dados vetoriais para rasters de 10, 50 e 100m, segue a parte da modelagem para a integração dos dados, como descrita nos tópicos abaixo:

• Passo 1: ir em sextante algoritmo “*Calculus tools for raster layers*” na ferramenta “*raster calculator*”.



- Passo 2: definida equação basta digitá-la, não esquecendo de acertar o raster de saída.



5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os pesos das classes foram definidos conforme a maior ou menor influencia da classe no potencial de armazenamento. Na altimetria a maior declividade afeta mais no potencial de armazenamento do que a menor declividade; na geologia a formação Guabirotuba afeta mais do que os sedimentos recentes por ser constituída de argilas expansivas; e no solo foi definido usando a porcentagem de argila e o tipo de relevo que cada classe é composta. Assim, um solo com maior porcentagem de argila vai afetar menos no potencial do que outro com porcentagem de argila menor.

5.1 ANÁLISE DA ÁREA

O estudo altimétrico revela que a bacia do rio Canguiri concentra suas maiores altitudes em áreas de composição geológica “Guabirotuba” e a parte mais baixa composta por sedimentos recentes na geologia e organossolos para o tipo de solo.

Com as informações agrupadas para cada raster das diversas características da área de estudo pode-se avaliar a influencia do tamanho do pixel na área final das classes. No potencial de armazenamento do meio poroso e do solo, a expressão hidrológica, representa as possíveis quantidades potenciais de água que o volume poroso ou solo existente no meio (rocha e solo) pode armazenar.

A Capacidade Potencial de Armazenamento do Meio Poroso é a expressão hidrológica que representa as possíveis quantidades potenciais de água que o volume poroso existente no meio (rochas e solo) pode armazenar. Para a determinação da Capacidade Potencial de Armazenamento do Meio Poroso foram realizadas as integrações, em separado, dos vetres das componentes solos, geologia e relevo. O resultado dessa expressão hidrológica pode ser observado na Figura 5.1 que representa o mapa com pixel de tamanho 10 m; na Figura 5.2, o mapa com tamanho de pixel de 50 m e na Figura 5.3, o de 100 m.

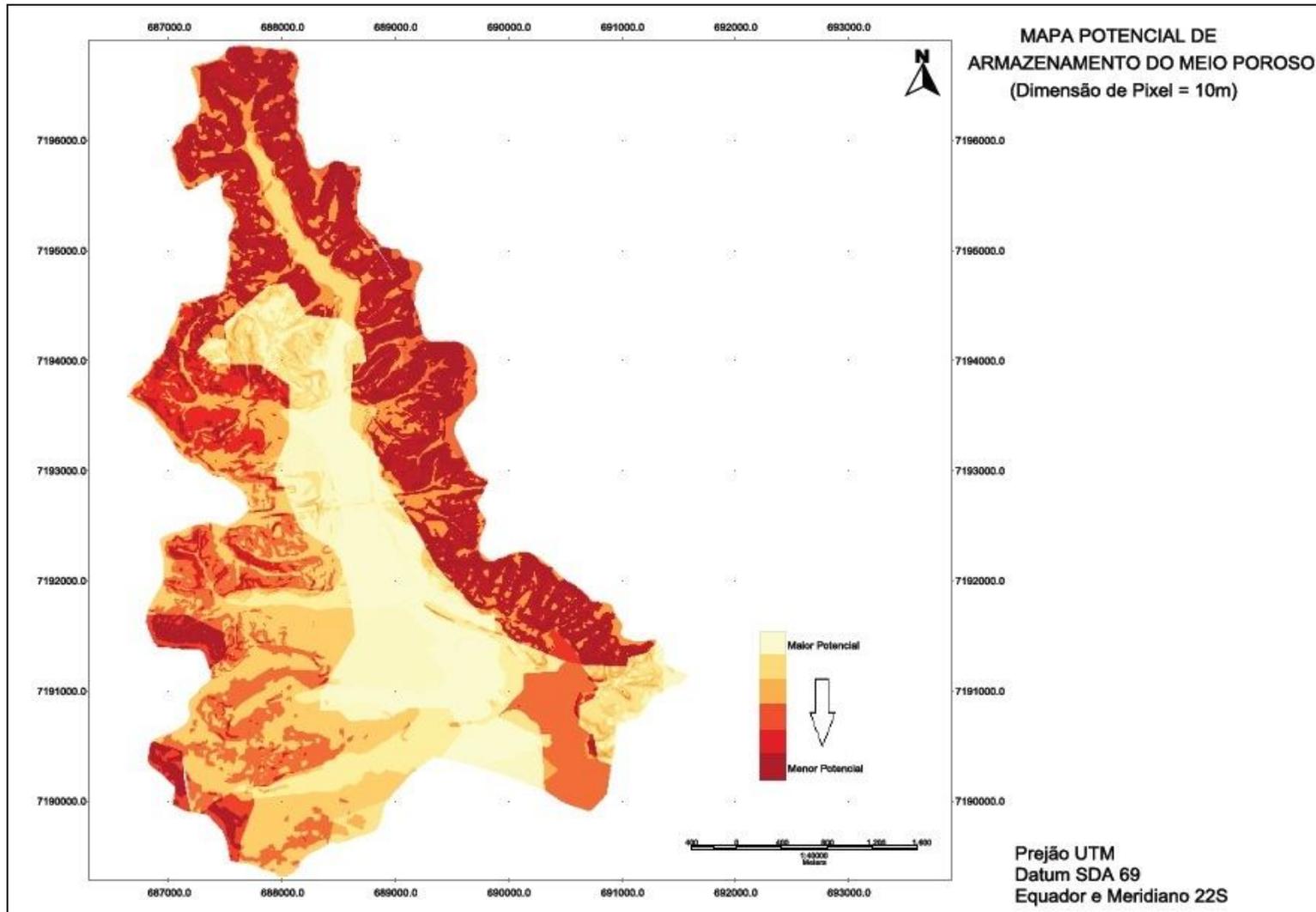


Figura 5.1: Mapa Potencial de Armazenamento do Meio Poroso (pixel = 10m)

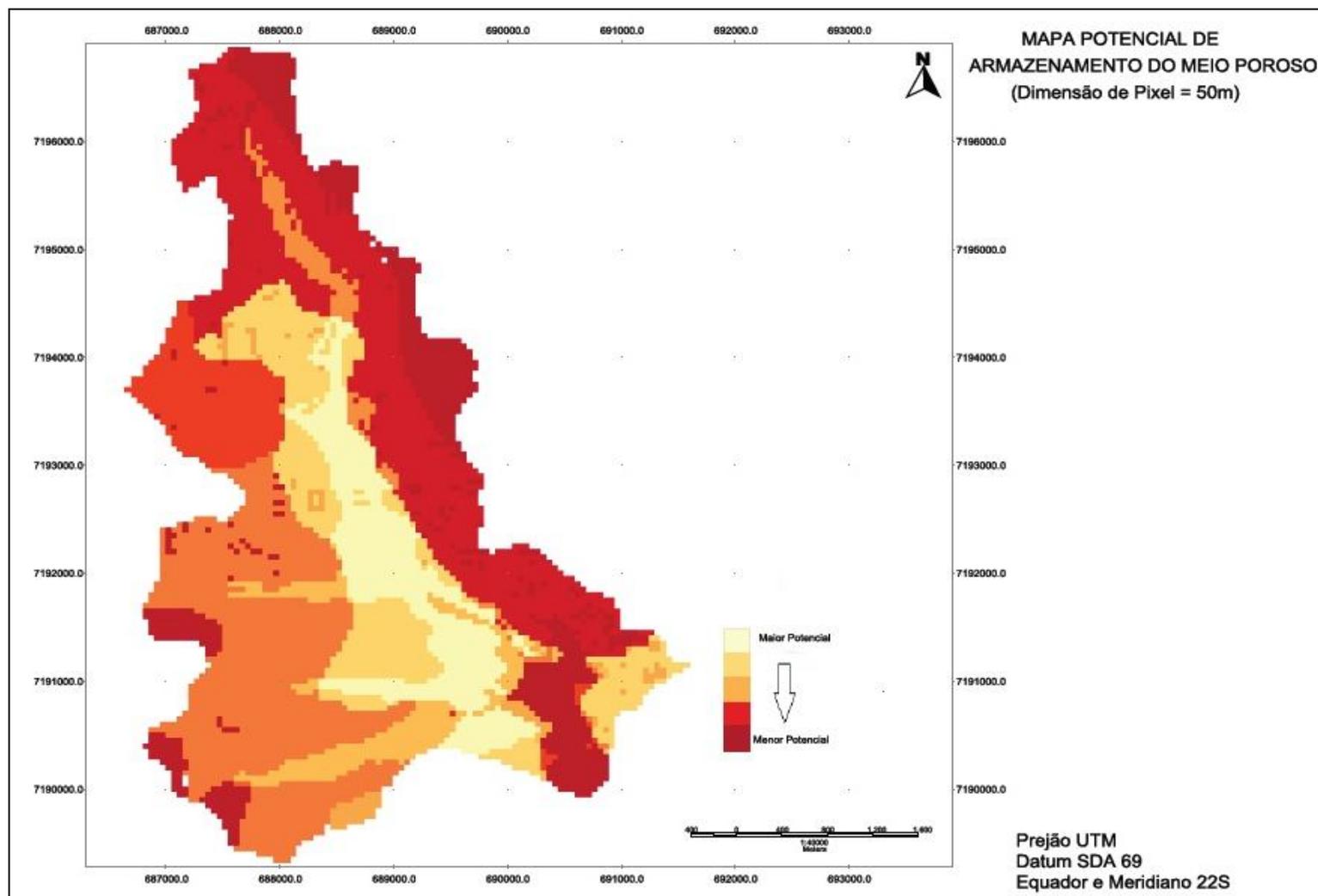


Figura 5.2: Mapa Potencial de Armazenamento do Meio Poroso (pixel = 50m)

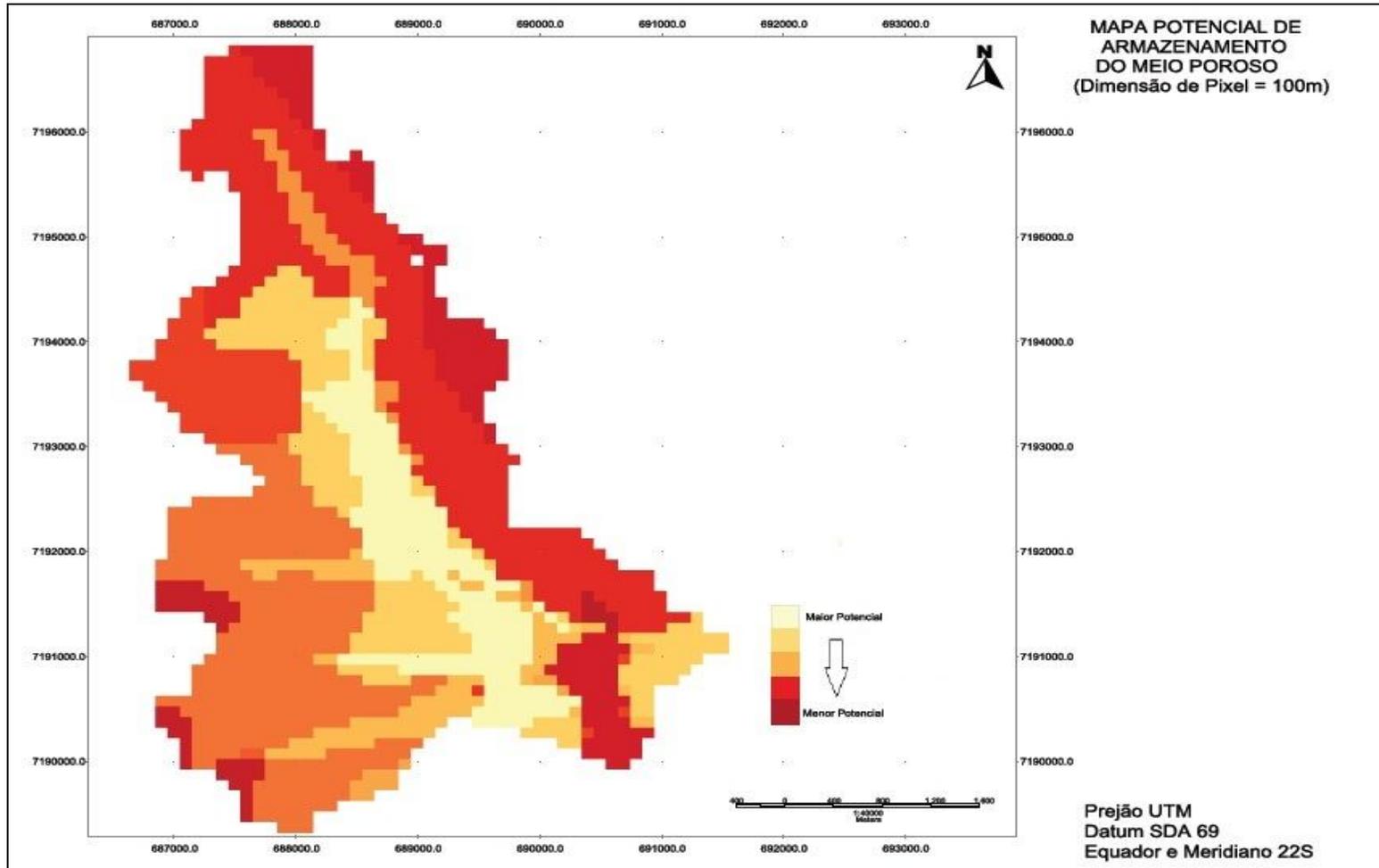


Figura 5.3: Mapa de Capacidade Potencial de Armazenamento do Meio Poroso (pixel = 100m)

Nos mapas acima se pode observar que o potencial de armazenamento do meio poroso tem maior influencia da altitude do que da geologia e do tipo de solo, considerando que a escala desses últimos dados foram bem menores do que a da altitude. Também podemos observar que quanto menor a dimensão do pixel maior o nível de detalhamento dos dados finais.

A Tabela 5.1 mostra a relação da percentagem da área da bacia com cada classe e seus intervalos de pixel.

TABELA 5.1 – QUANTIFICAÇÃO DAS CLASSES DO POTENCIAL DE ARMAZENAMENTO DO MEIO POROSO (Dimensão de pixel = 10m, 50m e 100m)

Dimensão de Pixel = 10m				Dimensão de Pixel = 50m				Dimensão de Pixel = 100m			
Classe	Intervalo dos Pixels	Área (km ²)	Área %	Classe	Intervalo dos Pixels	Área (km ²)	Área %	Classe	Intervalo dos Pixels	Área (km ²)	Área %
Muito Baixo	1 - 4	5,22	29	Muito Baixo	1	2,12	12	Muito Baixo	1	2,24	13
Baixo	5 - 8	3,56	20	Baixo	2 - 4	3,54	20	Baixo	2 - 4	3,54	20
Médio	9 - 17	4,42	25	Médio	5 - 7	4,45	25	Médio	5 - 7	4,52	25
Alto	18 - 28	3,27	18	Alto	8 - 12	6,76	38	Alto	8 - 10	5,43	30
Muito Alto	29 - 40	1,24	7	Muito Alto	13 - 30	0,99	6	Muito Alto	11 - 15	2,08	12
Altíssimo	41 - 72	0,13	1								
Total	-	17,85	100	Total	-	17,85	100	Total	-	17,81	100

Analisando os dados citados acima, observa-se que com o pixel de menor dimensão (10 m) nota-se uma classe a mais quando comparada com as outras dimensões, maior intervalo dos pixels. Com a dimensão do pixel igual a 10m, 18% da área encontra-se na classe alta, ou seja, 3,27 Km² da área tem um bom potencial de armazenamento do meio poroso; já com a dimensão do pixel igual a 50m e 100m, 38% e 30% da área, respectivamente, encontram-se na classe alta, ou seja, uma área de 6,76 Km² e 5,43Km² da área possui um bom potencial de armazenamento do meio poroso.

Posteriormente foi feita a integração do potencial do meio poroso com o uso do solo para o ano de 2009 obtendo o mapa de potencial de armazenamento do solo. O resultado dessa expressão hidrológica pode ser observado na Figura 5.4 que representa o mapa com pixel de tamanho 10 m; na Figura 5.5, o mapa com tamanho de pixel de 50 m e na Figura 5.6, o de 100 m.

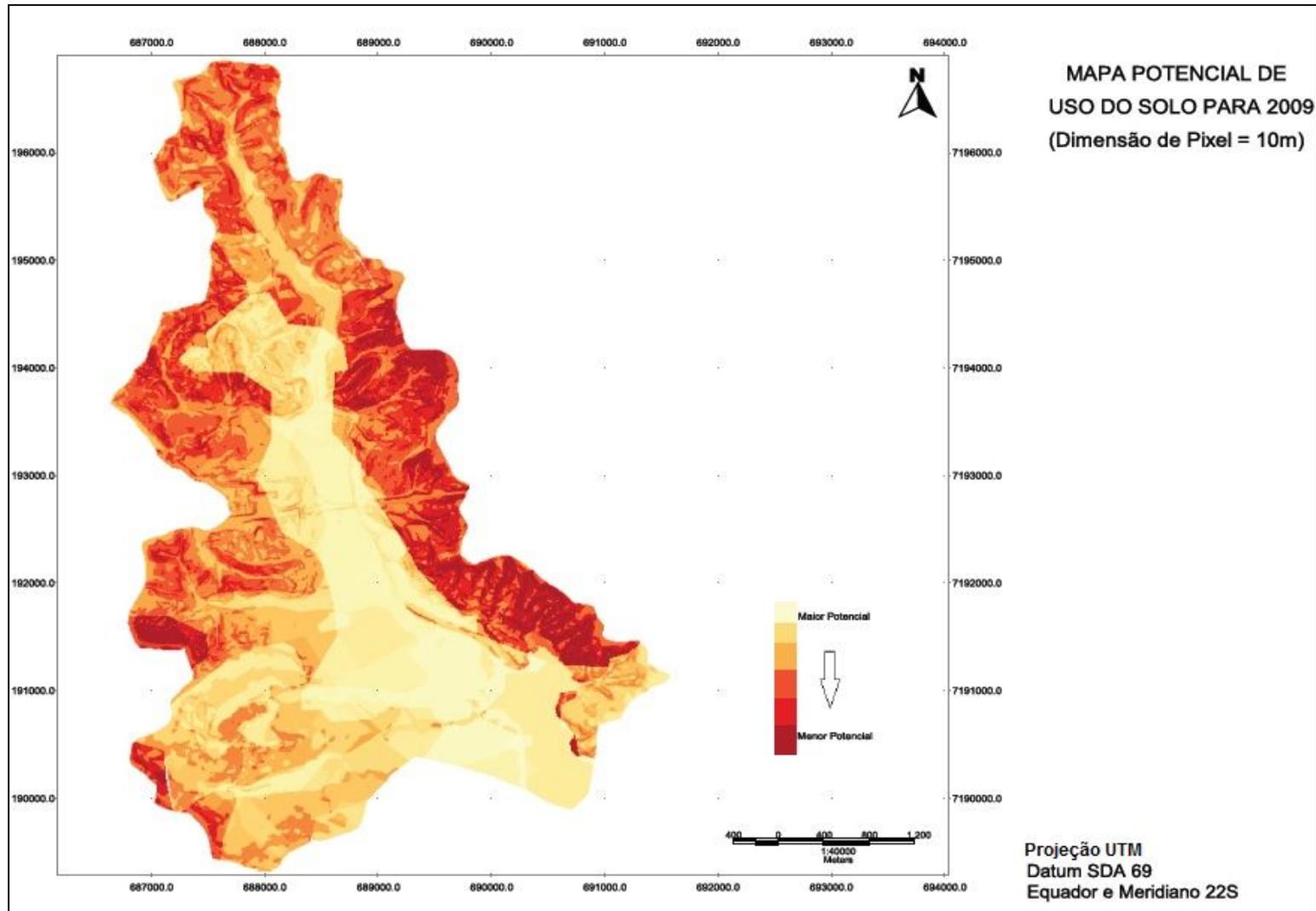


Figura 5.4 - Mapa de Capacidade Potencial de Armazenamento do Solo (pixel = 10m)

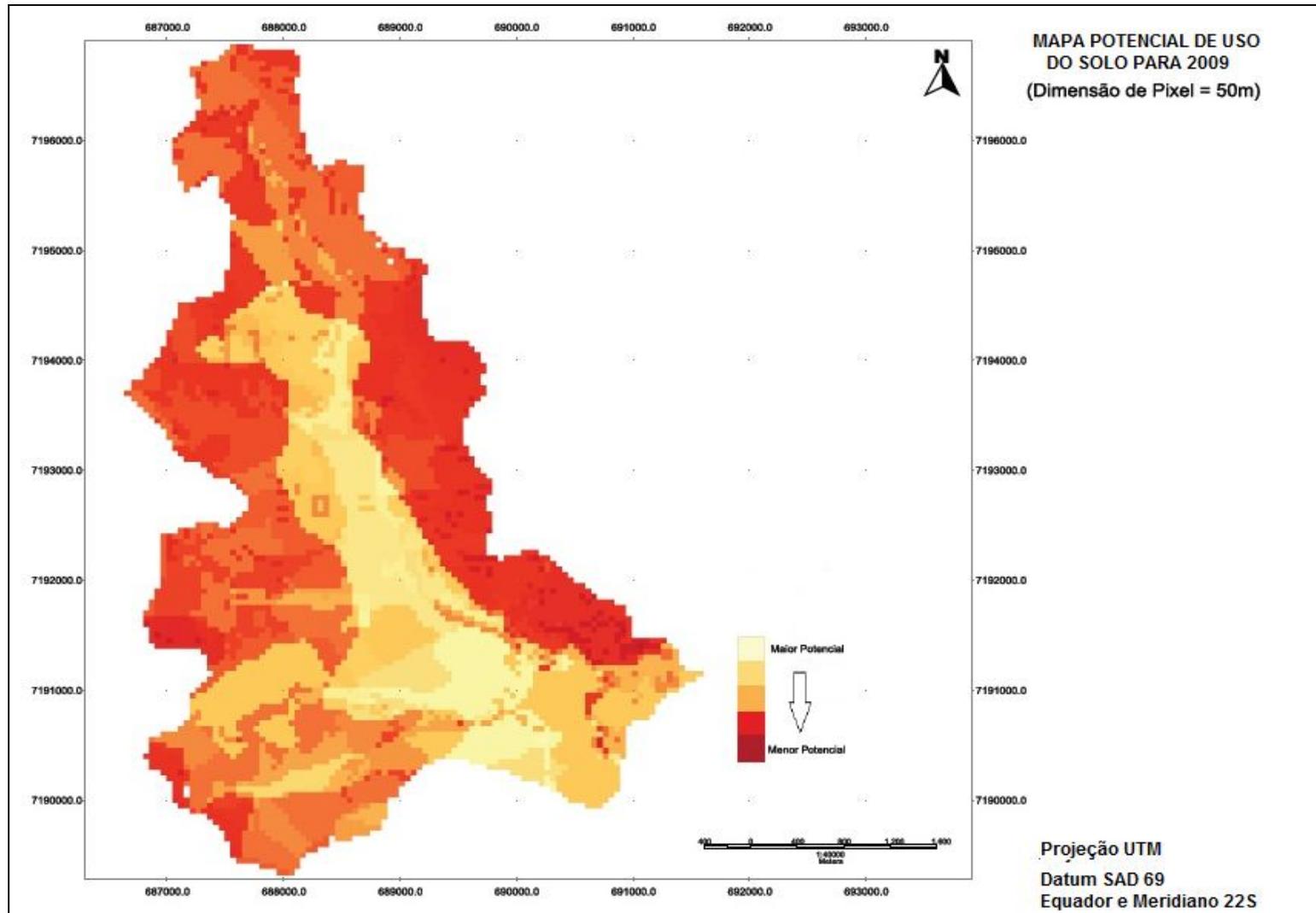


Figura 5.5 - Mapa de Capacidade Potencial de Armazenamento do Solo (pixel = 50m)

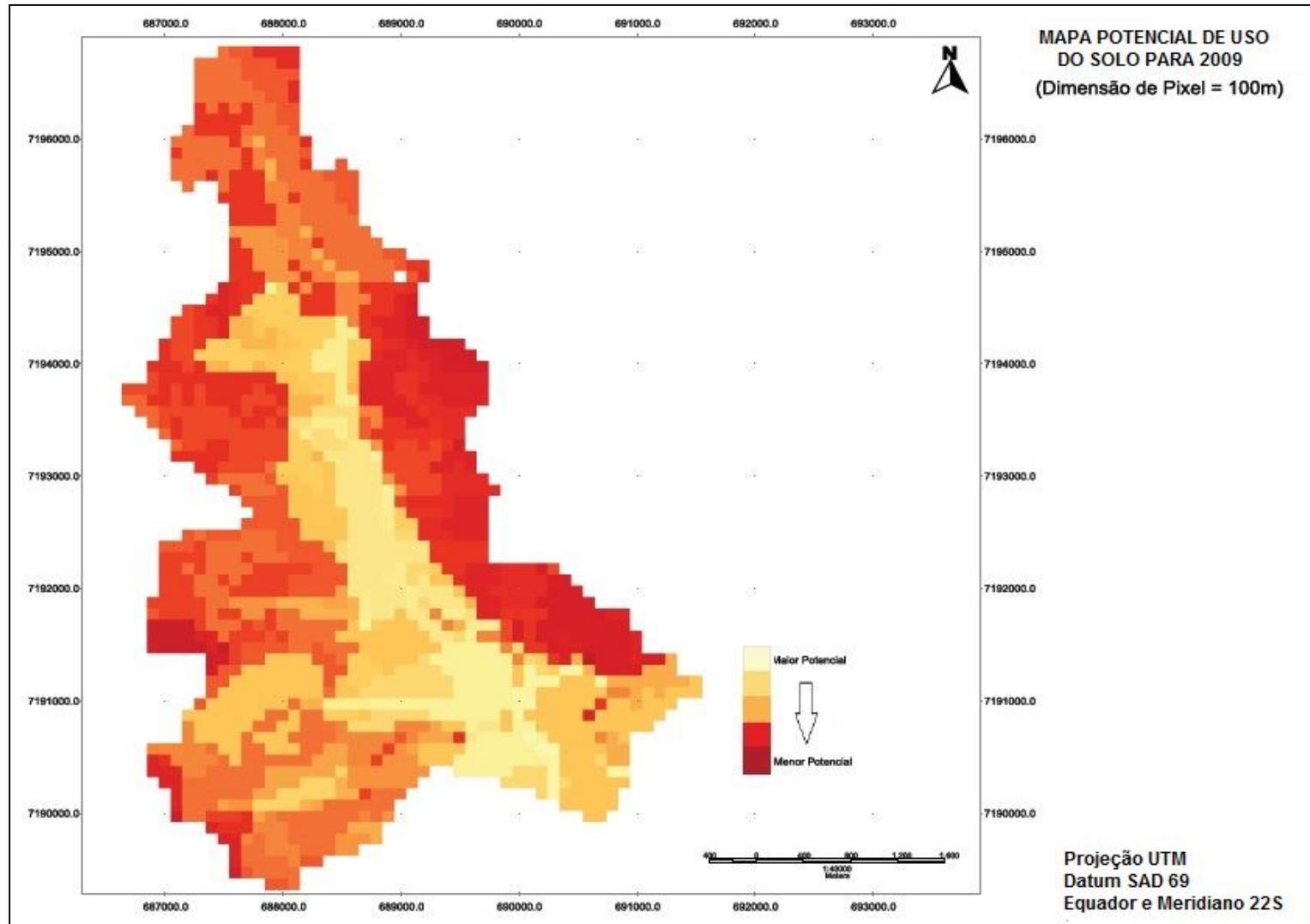


Figura 5.6 - Mapa de Capacidade Potencial do Solo (pixel = 100m)

Observando as figuras acima nota-se que a altitude também tem maior influencia no potencial de infiltração do solo, mesmo aqui apresentando um novo fator, o uso do solo, a escala da altitude ainda continua tendo maior influencia sobre o resultado final.

Para o potencial de armazenamento do solo, a Tabela 5.2 representa a relação da porcentagem de cada classe com a área da bacia para os três diferentes tamanhos de pixels.

TABELA 5.2 – QUANTIFICAÇÃO DAS CLASSES DO POTENCIAL DE ARMAZENAMENTO DO SOLO PARA O ANO DE 2009 (Dimensão de pixel = 10m, 50m e 100m)

Dimensão de Pixel = 10m				Dimensão de Pixel = 50m				Dimensão de Pixel = 100m			
Classe	Intervalo dos Pixels	Área (km ²)	Área %	Classe	Intervalo dos Pixels	Área (km ²)	Área %	Classe	Intervalo dos Pixels	Área (km ²)	Área %
Muito Baixo	1 - 22	5,93	33	Muito Baixo	1 - 9	2,79	16	Muito Baixo	1 - 9	2,95	17
Baixo	23 - 37	3,39	19	Baixo	10 - 21	4,48	25	Baixo	10 - 21	4,5	25
Médio	38 - 85	4,65	26	Médio	22 - 42	5,88	33	Médio	22 - 43	5,94	33
Alto	86 - 129	1,97	11	Alto	43 - 64	2,56	14	Alto	44 - 60	2,47	14
Muito Alto	130 - 180	1,23	7	Muito Alto	65 - 160	2,15	12	Muito Alto	61 - 120	1,94	11
Altíssimo	181 - 280	0,68	4								
Total	-	17,84	100	Total	-	17,85	100	Total	-	17,80	100

Com a dimensão do pixel igual a 10m, 33% da área encontra-se na classe muito baixa, ou seja, 5,93 Km² da área possui um solo com bom potencial de armazenamento. Enquanto que com o pixel de dimensão igual a 50m e 100m tem apenas 16% e 17% da mesma área na classe muito baixa, respectivamente. Com esses dados nota-se claramente a perda de área detalhada com pixels maiores.

Na Tabela 5.3 foram agrupados todos os valores percentuais da área para cada classe conforme a dimensão do pixel e do tipo de resultado encontrado. Ficando assim bem visível a influência das resoluções na redução do detalhamento de dados finais, mas que também por ter agrupado dados base de diferentes escalas é possível trabalhar com uma alta resolução.

TABELA 5.3 – DIFERENÇAS PERCENTUAIS ENTRE OS RESULTADOS PARA AS DIFERENTES DIMENSÕES DE PIXELS

Classe	Dimensão de Pixel - 10 m		Dimensão de Pixel - 50 m		Dimensão de Pixel - 100 m	
	Meio Poroso (Área %)	Solo (Área %)	Meio Poroso (Área %)	Solo (Área %)	Meio Poroso (Área %)	Solo (Área %)
Muito Baixo	29	33	12	16	13	17
Baixo	20	19	20	25	20	25
Médio	25	26	25	33	25	33
Alto	18	11	38	14	30	14
Muito Alto	7	7	6	12	12	11
Altíssimo	1	4	-	-	-	-

Na classe baixa, para a dimensão do pixel igual a 10m, tem-se 29 % da área da bacia com boa taxa de infiltração para o potencial de armazenamento do meio poroso, enquanto que para o potencial de infiltração do solo para o ano de 2009 tem-se 33%. Analisando o oposto, com o mesmo tamanho de pixel, a classe altíssima, tem-se que 1% da área da bacia tem uma taxa ruim de infiltração para o meio poroso e 4% para o solo.

Comparando os mapas do potencial de armazenamento do meio poroso com os dados de pequena escala (geologia e solo) com os dados de grande escala (altitude) podemos verificar com mais facilidade a influencia da escala dos dados quando se trabalha com dados de diferentes escalas. A Figura 5.7 mostra essas diferenças descritas acima.

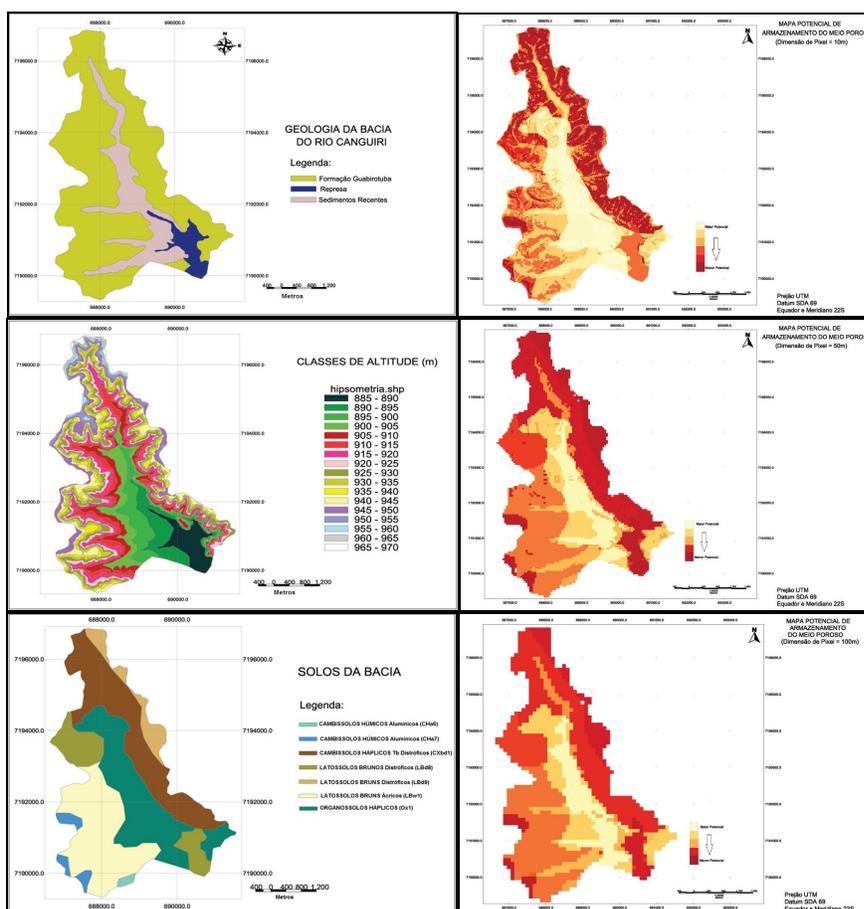


Figura 5.7 – Comparação dos mapas de potencial de armazenamento do meio poroso (10, 50 e 100m) para os dados base.

O mapa de geologia (E = 1:250.000) está ao lado do mapa com pixel de 10 metros, o de altitude (E = 1:100.000) ao lado do mapa de pixel igual a 50 metros e o de solos (E = 1:600.000) ao lado do mapa com pixel de 50 metros. As menores

altitudes encontram-se nas áreas com maior potencial de armazenamento e de maior altitude de menor armazenamento. O mesmo acontece quando se compara os dados do potencial de infiltração do solo para o uso do solo de 2009, observado na Figura 5.8:

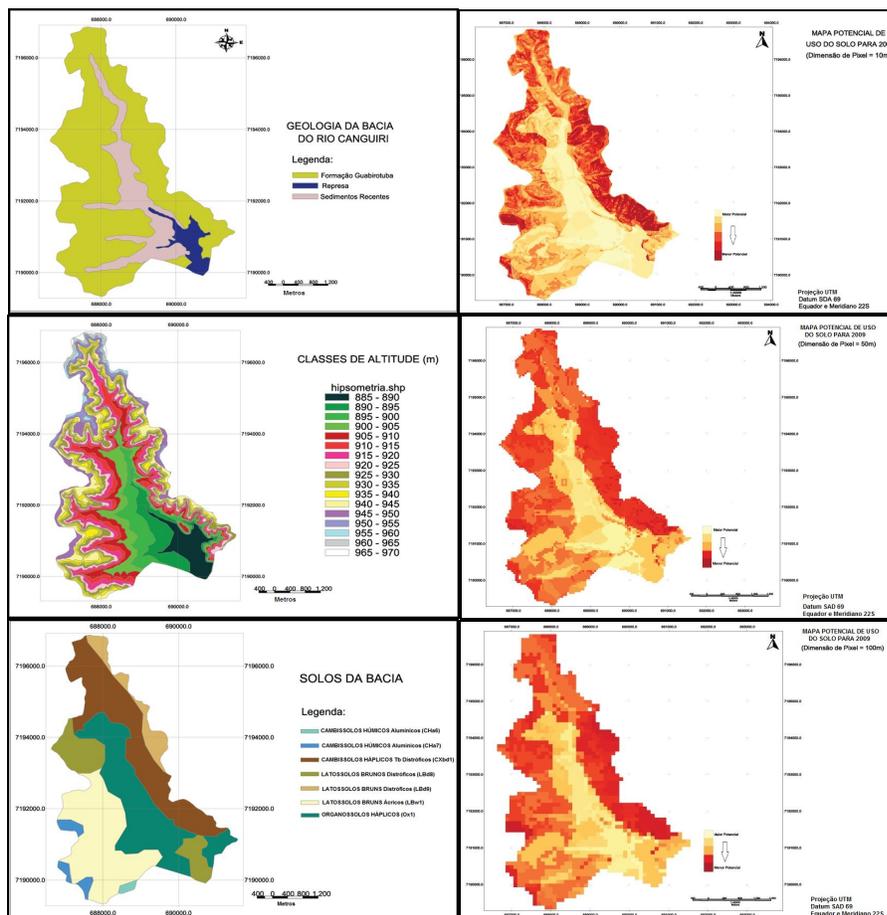


Figura 5.7 – Comparação dos mapas de potencial de infiltração do solo para 2009 (10, 50 e 100m) para os dados base.

As áreas com as classes de alto potencial de armazenamento encontram-se em locais com menor declividade, solos com maior percentagem de argila e onde há a formação de sedimentos recentes. Podendo avaliar dessa forma onde se concentra as regiões com maior potencial de armazenamento de água no solo.

Nota-se, também, que quanto maior as dimensões do pixel, mais dados se perdem e maior a desconfiguração do raster final. Sendo que a reclassificação dos dados atribui novos valores para cada pixel podendo assim observar que determinada análise não permite que o pixel seja reescalonado.

Uma das dificuldades em se trabalhar com dados rasters no software gvSIG é a forma que define o noll data e o método que define os intervalos das classe, utilizando uma única foram,a de intervalos constantes.

6 CONCLUSÕES

A metodologia tenta reduzir o subjetivismo espacial de zoneamento ao introduzir variáveis que, muito embora necessitem de maiores estudos, funcionam como indicadores reais de planejamento. Isto porque pauta-se em valores numéricos e na integração matemática destes por meio da álgebra aplicada ao espaço.

Neste contexto, o presente trabalho fornece informações, que podem auxiliar na escolha do pixel a ser utilizado para se trabalhar na área em questão. Ou seja, para uma área de 17,94 km² o ideal é se trabalhar com a mais alta resolução espacial adequada às fontes utilizadas, de forma a obter um maior detalhamento desta área.

A influência das resoluções quando se trabalha com mais de um dado é importante. No caso desse Trabalho, a influência dos dados de altitude foram bem visíveis, pois o mesmo apresenta uma escala bem maior do que os outros dados, a geologia, o uso do solo e o tipo de solo da área. Todos os resultados, tanto para o potencial de infiltração do solo para 2009 como para o potencial de armazenamento do meio poroso, as classes de maior valor para a análise estavam localizados nas altitudes menores e as classes de menor valor ou infiltração estavam nas altitudes maiores.

Com os diferentes tamanhos de pixel, 10 metros, 50 metros e 100 metros, avaliou-se a percentagem da área da bacia para as diferentes classes (da muito baixa (maior potencial) até a altíssima (menor potencial)), concluindo que quanto maior o tamanho do pixel menor o nível de detalhamento. Para os dados trabalhados, com as diferenças de escala, o melhor pixel definido foi o com de tamanho 10 metros. Esse dados com escala pequena possibilitaram a utilização de uma alta resolução espacial, mesmo apresentando uma pequena redução na análise da percentagens das áreas das classes.

Nota-se também que com a análise hidrológica pode-se avaliar qual a área mais afetada da bacia hidrográfica e o que mais interfere no potencial de armazenamento do meio poroso.

Estas análises se justificam na gestão ambiental e gerenciamento de bacias hidrográficas, pela necessidade da geração de informações que alicercem o

planejamento das intervenções futuras por meio da avaliação e controle da degradação que poderá a vir a ocorrer.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO FILHO, J. C.; RIBEIRO, M. R. Infiltração de água em Cambissolos do baixio de Irecê (BA). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 20, p. 363-370, 1996.

ARONOFF, S (1989) **Geographic Information Systems: A Management Perspective**. Ottawa: WDL Publications.

BAILEY, T.C. In **Spatial Analysis and GIS**. London: Taylor and Francis. 1994.

BARRELLA, W. et al. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (ed) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2ª edição. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001. p. 187 – 207.

BERTINI, G. C. (2003) **Uma modelagem orientada a objeto para o mapa urbano básico de Belo Horizonte (MUB/BH)**, Monografia de Especialização, Pontifca Universidade Católica de Minas Gerais.

BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. (Org.) **Mapa de Solos do Estado do Paraná – Legenda Atualizada**. Rio de Janeiro: Editora da Embrapa Solos, Embrapa Florestas, Instituto Agrônômico do Paraná, 2008. 1 CD-ROM.

BIANCHI, R. C. **Análise Hidrológica Temporal do Escoamento Superficial da Bacia Hidrográfica doo Rio Canguiri, Região Metropolitana de Curitiba, PR**. 255f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012

BIGARELLA, J. J. **A Serra do Mar e a porção oriental do Estado do Paraná**. Curitiba: SEPLAN/ADEA, 1978.

BIGARELLA, J. J.; SALAMUNI, R.; MARQUES F. Método para avaliação do nível oceânico à época da formação dos terraços de construção marinha. **Boletim Paranaense de Geografia**, 4/5. 1961.

BLACK, P. E. Watershed functions. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 33, n. 1, p. 1-11, 1997.

BURROUGH, P. A. Principles of Geographical Information System for Land Resource Assesment. Oxford: Oxford University Press, 1986. 194 p.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A M.V.; CARVALHO, M. S.; DRUCK, S (2002) **Análise Espacial de dados Geográficos**, 2a edição (online), disponível em: (<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/cap1-intro.pdf>), acesso em 02/01/2012.

COMISSÃO NACIONAL DE CARTOGRAFIA (CONCAR), Normas e Especificações Técnicas. Disponível em: (<http://www.concar.ibge.gov.br/detalheDocumentos.aspx?cod=8>) Acesso em: 12/03/2012.

CORDÃO, M. J. S. **Modelagem e Otimização da Disposição Espacial de Unidades de Reserva em redes de distribuição de água utilizando geotecnologias**. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos hídricos) – Setor de Exatas. Universidade Federal de Campina Grande do Sul, Campina Grande, Pernambuco, 2009.

CHIARANDA, R.. **Usos da Terra e Avaliação da Capacidade Potencial de Armazenamento de Água da Bacia do Rio Cuiabá - MT**. 362f. Tese (Doutorado, em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

CRUZ, I.; CAMPO, V. B. C. Sistemas de Informações Geográficas Aplicados a Análise Espacial em Transportes, Meio Ambiente e Ocupação do Solo. In: Rio Transportes III, 2005, Rio de Janeiro
Acesso em 08/07/2012 (<http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/vania/pubs.htm>)

DANTAS, E.P.; CALDAS, L.H.O.; CASTRO, D.L.; JARDIM DE SÁ, E.F. 1997. Gravimetria e sensoriamento remoto aplicados na caracterização do Lineamento de Afonso Bezerra e do Sistema de Falhas Carnaubais (RN). In: SBG, Simpósio de Geologia do Nordeste, 17, Fortaleza, Boletim 15, 343-347.

EVERTS, C.J.; KANWAR, R.S. Interpreting tension-infiltrometer data for quantifying soil macropores: some practical considerations. Transactions of the ASAE, Saint Joseph, 36(2):423-428, 1992.

FAO – Manual de Campo para la Ordenacion de Cuencas Hidrográficas. **Estudio y Planificacion de Cuencas Hidrográficas**. Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. Roma, 1992. Disponível em: (<http://www.fao.org/DOCREP/006/T0165S/T0165S00.HTM>). Acesso em: 15/03/2011.

FELIPE, R. S.. **Características Geológico-Geotécnicas da Formação Guabirota Curitiba**. MINEROPAR, Serviço Geológico do Paraná, 1ª edição, 49 p., 2011. Disponível em: <http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/publicações/Caract_Geol_Geot_formacao_Guabirota.pdf>. Acesso em: (15/09/2011).

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. Características e propriedades dos solos relevantes para os estudos pedológicos e análise dos processos erosivos. Anuário do Instituto de Geociências, v. 19 , 1996. Disponível em: (http://www.anuario.igeo.ufrj.br/anuario_1996/vol19_93_114.pdf). Acesso em: 07/01/2012.

GUERRA, H. C. Física dos Solos. Campina Grande: UFPB, 2000.

HEWLETT, J. D. **Principles of forest hydrology**. Athens, University of Georgia Press, 1982.

HISCOCK, K.M.; LOVETT, A.A.; BRAINARD, J.S.; PARFITT, J.P. Groundwater vulnerability assessment: two case studies using GIS methodology. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 28: 179-184, 1995.

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS (ITCG). **Cartografia e Geodésia – Produtos Cartográficos**. Carta Fitogeográfico do estado do Paraná. Escala: 1: 250.000. Curitiba - PR: 2010. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br>>. Acesso em: (12/11/2010)

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS (ITCG). **Cartografia e Geodésia – Produtos Cartográficos**. Carta Geologia do estado do Paraná. Escala: 1: 250.000. Curitiba - PR: 2010. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br>>. Acesso em: (12/11/2010)

JACOBS, G. A. **Dinâmica de uso e ocupação dos mananciais na Região Metropolitana de Curitiba – PR**. 255f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. 1.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 424 p.

MACIEL NETTO, A.; ANTONINO, A. C. D.; AUDRY, P.; CARNEIRO, C. J. G.; DALL’OLIO, A. Condutividade Hidráulica não saturada de um podzólico amarelo da zona da mata norte de Pernambuco. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 5, n. 6, p. 1221 – 1228, 2000.

MENESES, H. B. (2003) **Interface Lógica em Ambiente SIG para Bases de Dados de Sistemas Centralizados de Controle do Tráfego Urbano em Tempo Real**, Dissertação de Mestrado, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

MILLER, H. J. e S. SHAW (2001) **GIS-Based Spatial Analysis and Modeling**. Ins: Oxford University Press (eds) *Geographic Information Systems for Transportation: Principles and Applications*, London, UK.

PAREDES, EVARISTO ATENCIO. *Sistema de Informações Geográficas – Princípios e Aplicações*. São Paulo: Érica:1994, 675p.

RASTER Compreender dados. Disponível em: <<http://www.fire.org/niftt/released/RasterPrimer.pdf>>. Acesso em: 24/02/2012.

RASTER Imagens 24 – bits; Capítulo 7. Disponível em: <http://www.hdfgroup.org/ftp/HDF/Documentation/HDF4.2.7/hdf_UsrGuide_html/UG_RIS24s.html>. Acesso em: 24/02/2012.

RASTER Modelo de Dados e suas aplicações; Capítulo sete. Disponível em:

<http://masumbillah.tripod.com/thesis/015.htm>>. Acesso em: 24/02/2012.

ROCHA, M. M. **Modelagem da Dispersão de Vetores Biológicos com emprego da Estatística Espacial**, Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia-IME, Rio de Janeiro, (2004).

ROSA, R. Sistema de Informação Geográfica. Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Geografia, Laboratório de Geoprocessamento. Apostila-SIG. Fevereiro, 2004. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/36115796/apostila-sig>>. Acessado em: 15/12/2011.

SALES, L. E. O.; FERREIRA, M. M.; OLIVEIRA, M. S.; CURI, N. Estimativa da velocidade de infiltração básica do solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, v. 34, n. 11, p. 2091 – 2095, 1999.

SILVA, C.; KATO, E. Efeito de selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, v. 32, n. 2, p. 213 – 220, 1997.

SOUZA, E. R.; FERNANDES, M. R.. **Sub-bacias Hidrográficas Unidades Básicas para o Planejamento e Gestão Sustentáveis das Atividades Rurais**. Informe Agropecuário. Belo Horizonte. v. 21, n. 207, p. 15-20, nov./dez. 2000

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. **O Conceito de Bacia Hidrográfica e a Importância da Caracterização Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental** UNIARA, Araraquara, n. 20, p. 137-156 2007. Disponível em: http://www.uniara.com.br/revistauniara/pdf/20/RevUniara20_11.pdf>. Acessado em: 15/03/2011.

VIEIRA, L. S. Manual de Ciência do Solo: com ênfase aos solos tropicais. Agrônômica Ceres. São Paulo, 464 p., 1988.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A.. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1975.

WHITEHEAD, P. G.; ROINSON, M. Experimental basin studies: an international and historic perspective of forest impacts. **Journal of Hydrology**, v. 145, p. 217-230, 1993.

UNWIN, D. J. Introductory Spatial Analysis. Methuen. London, 1981.