

DEFINIÇÃO DE ÁREAS HOMOGÊNEAS PARA A DISPONIBILIDADE DE RECURSOS HÍDRICOS BASEADA NA ABORDAGEM DA ECOLOGIA DA PAISAGEM

Marcello ALVES¹; Sueli Yoshinaga PEREIRA¹; Mario VALERIO FILHO²

(1) M. Alves and S. Y. Pereira - Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP / Instituto de Geociências – IGe - UNICAMP, Rua João Pandiá Calógeras, 51, CEP: 13083-970 - Campinas – SP – Brasil - {malves, sueliyos}@ige.unicamp.br.

(2) M. Valerio Filho Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP/ Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento- Laboratório de Planejamento Urbano e Regional. {mvalerio@univap.br}

Introdução
Objetivos Gerais
Objetivos específicos
Localização e Características da Área de Estudo
Método
Pluviosidade
Isso e Cobertura Vegetal das Terras
Solos
Geologia
Hipsometria
Resultados e Discussões
Integração dos Dados Temáticos com seus Pesos Agregados (Geração da grade de valores de atributos)
Integração das Grades de Valores Numéricos das Variáveis presentes na Área Estudada
Qualificação dos Intervalos de Valores Representativos e Detecção dos Conjuntos de Eventos Homogêneos segundo o Potencial de infiltração na Área de Estudo
Elaboração do Mapa Síntese das Áreas Homogêneas
Considerações finais
Referências Bibliográficas

RESUMO: O presente trabalho visa definir áreas potenciais de disponibilidade de recursos hídricos. Para tanto é importante entender o ciclo da água e suas interações. Este entendimento respeita um grupo de diferentes elementos que compõem a paisagem, como o relevo, coberturas vegetais, pluviosidade, solo e rochas. Estes elementos estão na natureza sob diferentes aspectos e comportamentos. Assim uma proposta de método foi desenvolvida neste artigo baseada na abordagem da Ecologia da Paisagem. Valores quantitativos e pesos relativos foram atribuídos a estes elementos de acordo com a participação potencial nos processos de infiltração. Logo após os valores sugeridos foram integrados na forma "vertical", e os resultados foram divididos em classes. A análise espacial, armazenamento e integração dos dados foram realizados pelo Sistema de Informação Geográfica (SIG). O método proposto permite avaliar disponibilidade de água local subsidiando ação em áreas potenciais, que podem ser reflorestadas e controladas. A área de estudo situa-se na porção média da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, São Paulo, Brasil. Os resultados apresentam diversas áreas potenciais à infiltração de água para a região; no entanto o uso e ocupação (como pastagem e áreas com vegetação esparsa) das áreas potenciais não contribui para armazenar água subterrânea e a manter a escoamento básico dos rios durante a estiagem. Esse tipo de uso da terra provoca também escoamento superficial e erosão na região. Esse estudos detectaram ainda forte tendência para o uso dessas áreas potenciais de infiltração para plantação de eucaliptos.

Palavras-chaves: recursos hídricos, paisagem, ciclo da água, bacia hidrográfica, rio Paraíba do Sul.

ABSTRACT. The current work aims to define potential areas to water resources availability. In this matter it is important to understand the water cycle and its interactions. This understanding regards a group of different elements which composes the landscape, as relief, vegetal covertures, rainfall, soil and rocks. These elements are found in nature with different aspects and behaviors. A methodological proposal was developed in this paper based on Landscape Ecology approach. It was given qualitative values and relative weights according to the potential participation in the infiltration processes. Right after the suggested values had jointed in "vertical" form, and the results were divided in classes. Space analysis, storage and data integration were made by Geographical Information System (GIS). The proposed method allows evaluating local water availability subsiding action in certain potential areas, which may be reforested and controlled. The studied area presents a portion of Paraíba do Sul river basin, São Paulo – Brazil. Results present good areas for water infiltration; however the landuse occupation (as pasture and sparse vegetation areas) of these potential areas does not contribute to reservoir groundwater storage and to maintenance of rivers base flow in dry seasons. This kind of landuse provokes also superficial flow and erosion in the region. These studies detected yet strong trend to occupy these potential of infiltration areas by eucalyptus plantation.

KEYWORDS water resources, landscape, water cycle, watershed, Paraíba do Sul River.

INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como objetivo definição de áreas homogêneas para a disponibilidade de recursos hídricos baseada na abordagem da ecologia da paisagem. Isto de acordo com as seguintes premissas: (1) o potencial de infiltração mantém, em períodos de estiagem, o escoamento básico de um rio, e é um dos principais responsáveis pela manutenção do escoamento dos rios e, por conseguinte, pela disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica; (2) O sistema ambiental tem um número ilimitado de

elementos de análise e inter-relações, mas as mudanças e/ou alterações na disponibilidade hídrica são controladas por um número relativamente pequeno de processos fundamentais, estes passíveis de análise.

Alguns destes processos são descritos e caracterizados como resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos formando assim, um conjunto indissociável e em perpétua evolução (Bertrand 1968).

OBJETIVOS GERAIS

Desenvolver a partir do referencial conceitual da ecologia da paisagem e com auxílio das geotecnologias, um procedimento metodológico para estudos de integração de dados do meio físico. Permitindo assim, a definição de áreas potenciais à disponibilidade de recursos hídricos, a partir de atributos qualitativos indicados de acordo com o grau de participação efetiva no processo de recarga dos reservatórios dos elementos da paisagem - Geologia, Pedologia, Hipsometria e Uso e Cobertura Vegetal das Terras e Pluviosidade.

Objetivos Específicos

a) Atribuir pesos a estes elementos, segundo sua potencial de infiltração, propondo-

se assim indicadores qualitativos ambientais de disponibilidade de recursos hídricos.

b) Diagnosticar, os clusters de áreas homogêneas buscando as áreas com maior ou menor potencialidade a recarga de recursos hídricos.

c) Contribuir como instrumento estratégico nas tomadas de decisões em escala Local e regional, assim como apoiar os planejamentos locais e regionais, subsidiando ações de manejo sustentável de áreas, tendo como proposta minimizar os impactos da falta d'água em períodos de estiagem.

LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

O sistema de montanhas, representado pelas Serras do Mar e a Serra da Mantiqueira, constitui a mais destacada feição orográfica da borda atlântica do continente Sul-Americano (Almeida & Carneiro 1998).

Neste contexto, o Vale do Paraíba do Sul em sua porção média apresenta-se caracterizado

por dois principais domínios, embasamento cristalino de idade pré-cambriana, que é o arcabouço estrutural da Serra do Mar e da Mantiqueira, e a bacia sedimentar de Taubaté (Terciária) com depósitos aluviais associados (Quaternária) (Coltrinari 1974). A área de estudo (Figura 1)

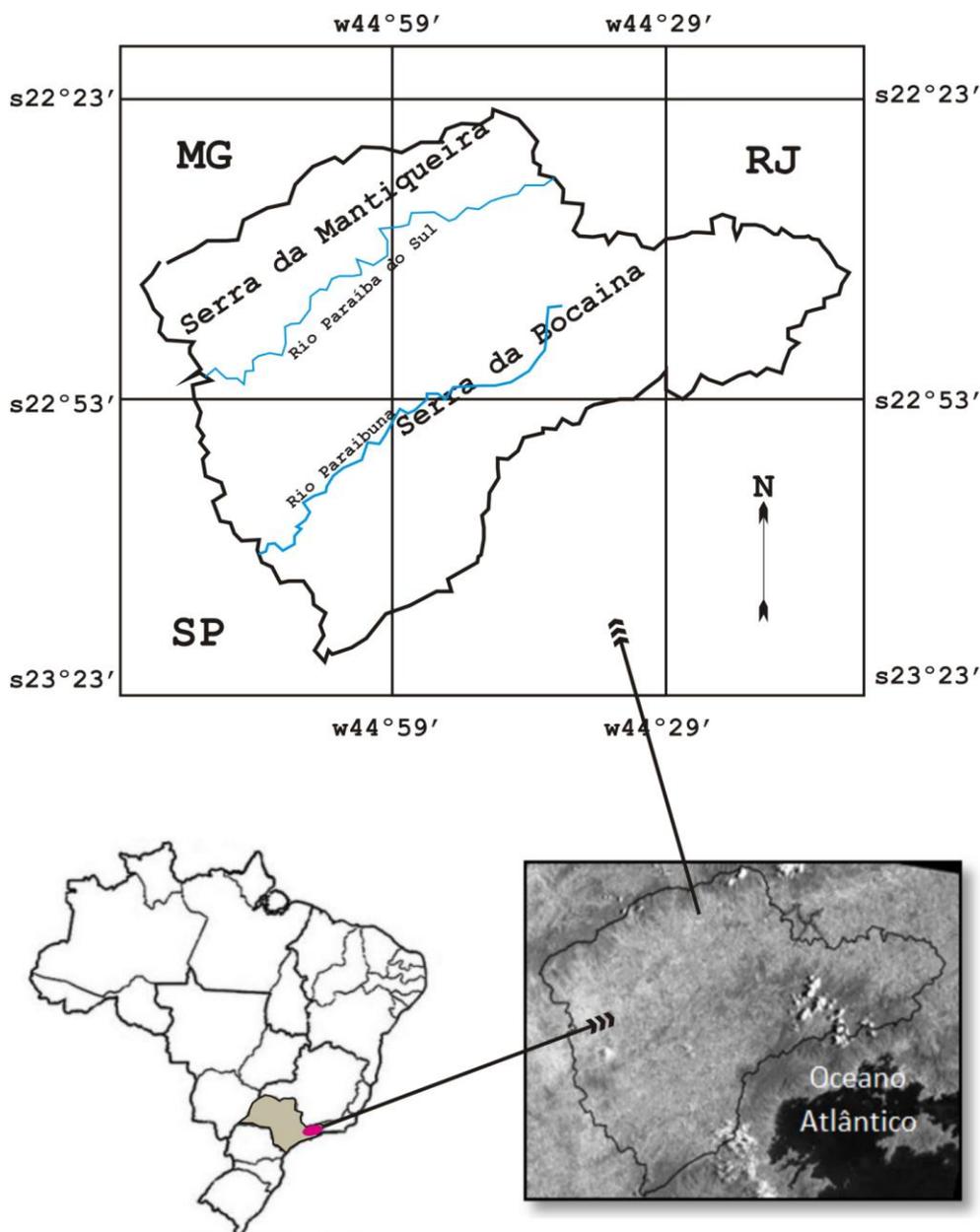


Figura 1. Localização da área de estudo.

O embasamento cristalino da região está inserido no Complexo Embu que controla estruturalmente a bacia de Taubaté, tanto ao Norte quanto ao Sul, e é composto basicamente de Migmatitos. As rochas do embasamento cristalino, principalmente os Migmatitos e Gnaisses, são responsáveis pelas serras locais e morros alongados com espigões que se caracterizam por perfis retilíneos, localmente abruptos, com presenças de serra locais, drenagem de alta densidade, com padrão dendrítico a pinulado, vales fechados, planícies aluvionares restritas (Coltrinari 1974).

As altitudes variam de 500 a 2700 metros com fortes declives do relevo com áreas com declividade acima de 40 %. As baixas

temperaturas que em alguns locais durante o inverno podem atingir proximidades a 0° (C°), influem diretamente nos tipos de solo, entre eles: Podzolizado com cascalho, Latossolos Vermelho Amarelo fase rasa e Litossolos.

Os formadores do Rio Paraíba do Sul e seus afluentes de alto curso também compõem esta região, que apresenta diversos parques e Áreas de Proteção Ambiental (APA), tais como o Parque Nacional da Bocaina, Parque Estadual da Serra do Mar, Estação Ecológica de Bananal.

A área escolhida para a execução e análise neste trabalho abarca o conjunto de rios que formam o Rio Paraíba do Sul e o último

trecho referente ao âmbito Paulista da bacia hidrográfica (Figura. 2).

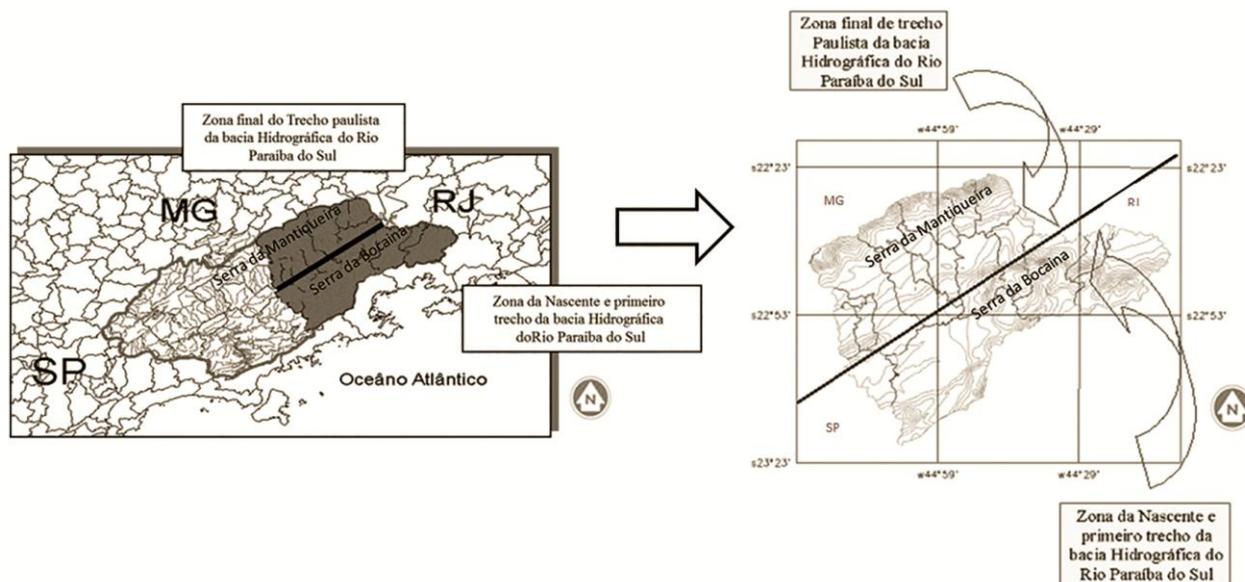


Figura 2. Localização da área de estudo representando as zonas de Nascente e fim do trecho paulista da bacia do Rio Paraíba do Sul.

MÉTODO

Este trabalho propõe integrar os elementos da paisagem segundo seu potencial de infiltração e participação no processo de recarga dos reservatórios. Muitas vezes as respostas para diversas indagações no tocante à natureza ou mesmo seu comportamento sazonal podem ser supridas com a observação dos cenários da paisagem e suas interrelações. Destacam-se entre os pesquisadores deste tema, Alexander Von Humboldt (1811) ou mesmo August de Saint-Hilaire (1822).

Foram coletados através de cartas temáticas, nas mais diversas escalas de representações, variando de 1:50.000 a 1:250.000 as informações a respeito dos elementos da paisagem-Geologia, Pedologia, Hipsometria e Uso e Cobertura Vegetal das Terras e Pluviosidade. A escala adotada na

elaboração do produto final deste trabalho é a de 1:250.000. Assim as representações matriciais com tamanho mínimo foram estabelecidas para os pixels de 50 metros quadrados.

Após os passos de vetorização, edição e alocação em um Banco de Dados Geográfico, os dados dos diferentes elementos que compõem a paisagem e suas respectivas formas de ocorrência na área estudada foram avaliados segundo os critérios de Capacidade relativa de Infiltração e Recarga.

Buscou-se assim adequar índices qualitativos e pesos relativos, estes com base nas características intrínsecas dos diferentes elementos da paisagem e segundo o grau de influência da variável no processo de infiltração nas áreas de bacias hidrográficas (Tabela 1).

Tabela 1 Relação de qualificadores e seus respectivos pesos relativos

| Classes Qualitativas | Pesos Relativos |
|----------------------|-----------------|
| Muito Baixa | 1 |
| Baixa / Média | 2 |
| Média | 3 |
| Alta | 4 |

Pluviosidade

Consideraram-se como o elemento principal as isolinhas de pluviosidade de chuvas máximas.

Existem áreas do interior do estado de São Paulo - Brasil que se apresentam com chuvas de alta intensidade em algumas épocas do ano, porém, para o restante do estado a diferença de chuvas máximas e chuvas mínimas são de 20 mm, o que não interfere muito no resultado final e, por conseguinte, não modifica os valores propostos para o produto cartográfico (Genovez *et. al* 2000).

Para este trabalho o período de coleta de informações usada na elaboração do modelo é

de 30 anos, informações estas coletadas nas estações pluviométricas do Departamento de Águas e Energia do Estado – DAEE e cedidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INEMET (Genovez *et. al* 2000).

Utilizou-se do período de retorno de 5 (cinco) anos devido a muitas das estações não estarem mais coletando dados na área estudada, o que dificulta e torna pouco confiável uma projeção de retorno de 10, 50 ou mesmo 100 anos. O determinante dos maiores e menores pesos atribuídos foram os valores dos índices pluviométricos registrados nos intervalos das isoietas, os quais variam de 80 mm a 120 mm de média anual na região (Figura. 3, Tabela 2).

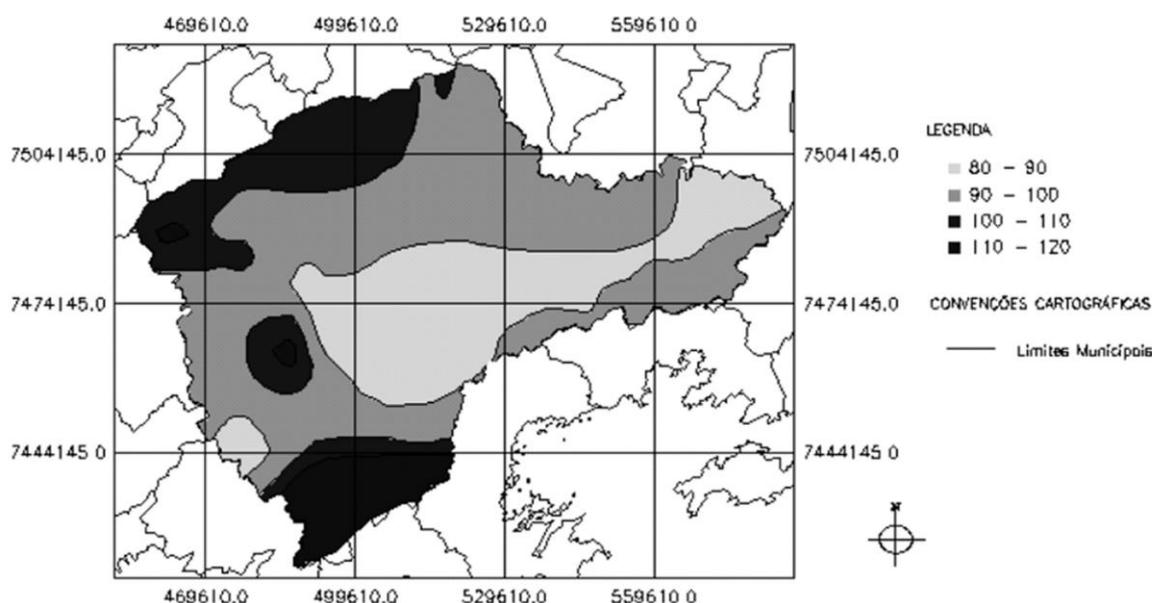


Figura 3. Mapa de isoietas de Pluviosidade. (Genovez *et. al* 2000)

Tabela 2. Relação dos atributos da variável, Pluviosidade, e seus pesos relativos.

| Atributos (mm) | Pesos | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------|-------|---|---|---|---|
| 80 – 90 | | ■ | | | |
| 90 – 100 | | | ■ | | |
| 100 - 110 | | | | ■ | |
| 110 - 120 | | | | | ■ |

Uso e Cobertura Vegetal das Terras.

O mapa de uso e cobertura vegetal das terras foi elaborado através da interpretação de imagem do Sensor TM (Thematic Mapper) do satélite LANDSAT 5.

Considerando a escala de detalhamento de interpretação definiu-se um total de 6 (seis) classes de Uso e Cobertura Vegetal das Terras

que representam de forma fidedigna as características espaciais da área estudada.

As classes propostas para análise do Uso e Cobertura Vegetal das Terras seguem os padrões propostos por estudos anteriores realizados para a região (Pereira *et. al* 1988).

- a) Urbanização;
- b) Áreas agrícolas;
- c) Mata;

- d) Capoeiras;
- e) Reflorestamento;
- f) Pastagem;

A atribuição dos pesos obedeceu a critérios qualitativos baseados em estudos a respeito da potencial de infiltração e recarga. As regiões com vegetação natural preservada obtiveram os maiores índices, seguidos das capoeiras e reflorestamentos, como também as áreas de cultura agrícola e urbanização.

As áreas urbanizadas foram consideradas de baixa potencial de infiltração. Neste caso não foi considerada a capacidade de recarga artificial provenientes de perdas de água e esgoto das companhias de abastecimento urbano.

Neste trabalho algumas classes, por representarem capacidades semelhantes de infiltração foram agrupadas, tais como as Pastagens e as Áreas de Cultura Agrícola (Figura. 4, Tabela 3).

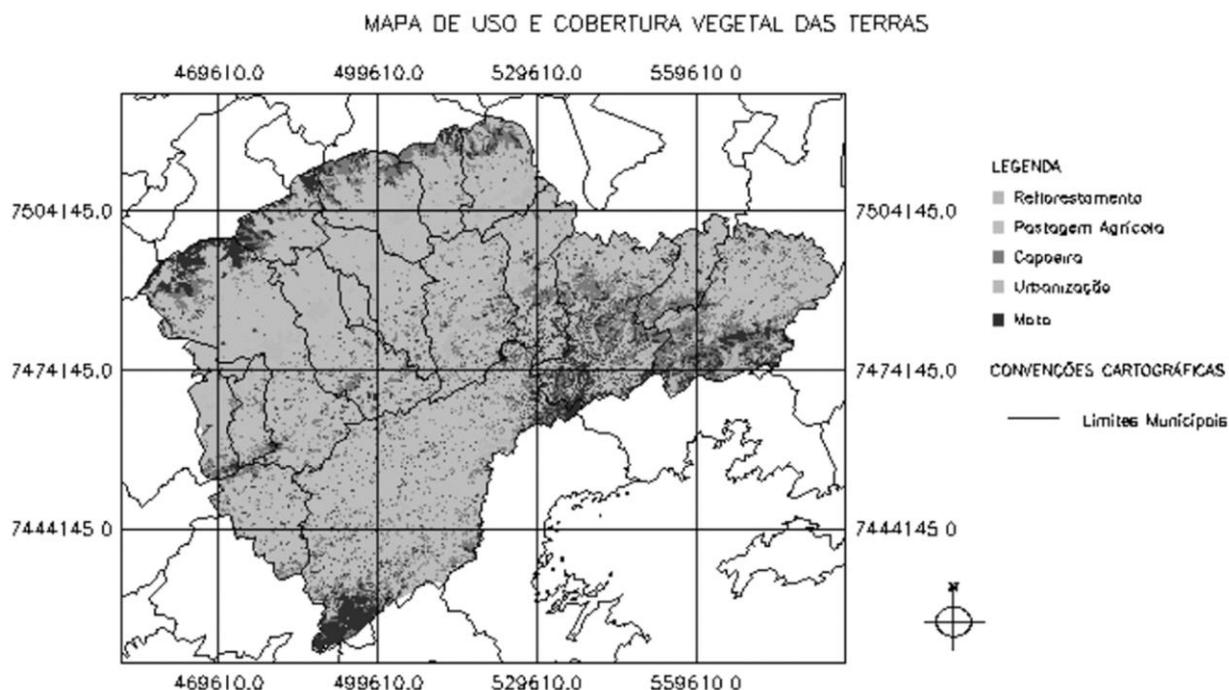


Figura 4. Mapa de Uso e Cobertura Vegetal das Terras.

Tabela 3. Relação dos atributos da variável, Uso e Cobertura Vegetal das Terras, e seus pesos relativos.

| Pesos | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------------|---|---|---|---|
| Atributos | | | | |
| Urbanização | | | | |
| Áreas agrícolas / Pastagem | | | | |
| Capoeiras / Reflorestamento | | | | |
| Mata | | | | |

Solos

O mapa de Solos da área estudada apresenta diversas classes, estas levantadas pelo Projeto Macrozoneamento do Vale do Paraíba – MAVALE (Kurkdjian *et al* 1992).

Os pesos foram atribuídos de acordo com as características intrínsecas do solo dos diversos grupos de solos atribuídos por Lombardi Neto *et. al* (1991). (Tabelas 4, 5, Figura 5, e Tabela 6).

No entanto, face à nova classificação dos solos (Embrapa 2006), as classes de solos foram atualizadas, porém os critérios

utilizados para a avaliação do potencial de infiltração está de acordo com a proposta de Lombardi *et al.* (1991), que trabalhou com a caracterização hidrológica dos solos, considerado de relevância para esse estudo.

A tabela 4 apresenta as características intrínsecas consideradas importantes para avaliação do potencial de infiltração, de acordo com Lombardi Neto *et al.* (1991).

A tabela 5 apresenta os tipos de solos (de acordo com a nova classificação) e as características correspondentes consideradas importantes para o presente estudo.

Tabela 4. Grupos Hidrológicos de Solos (GHS) e suas características intrínsecas consideradas na classificação do potencial de infiltração, de acordo com Lombardi Neto *et. al* (1991).

| GHS | Características |
|-----|---|
| A | Solos arenosos, profundos e bem drenados. |
| B | Solos arenosos com pouca argila e solo orgânico |
| C | Solos mais argilosos que o GHS B, com baixa permeabilidade. |
| D | Solos com argilas pesadas, muito impermeáveis. |

Tabela 5. Tipos de solos (Embrapa 2006) e suas características intrínsecas consideradas para a avaliação do potencial de infiltração (baseadas em Lombardi Neto *et al.* 1991).

| Tipo de solo (Embrapa 2006) | Características intrínsecas consideradas |
|-------------------------------------|---|
| Latossolo Vermelho-Amarelo | Solos arenosos, profundos e bem drenados. |
| Argissolos Vermelho-Amarelos | Solos arenosos com pouca argila e solo orgânico |
| Cambissolo | Solos mais argilosos com baixa permeabilidade |
| Gleissolos Melânicos | Solos com argilas pesadas, muito impermeáveis |

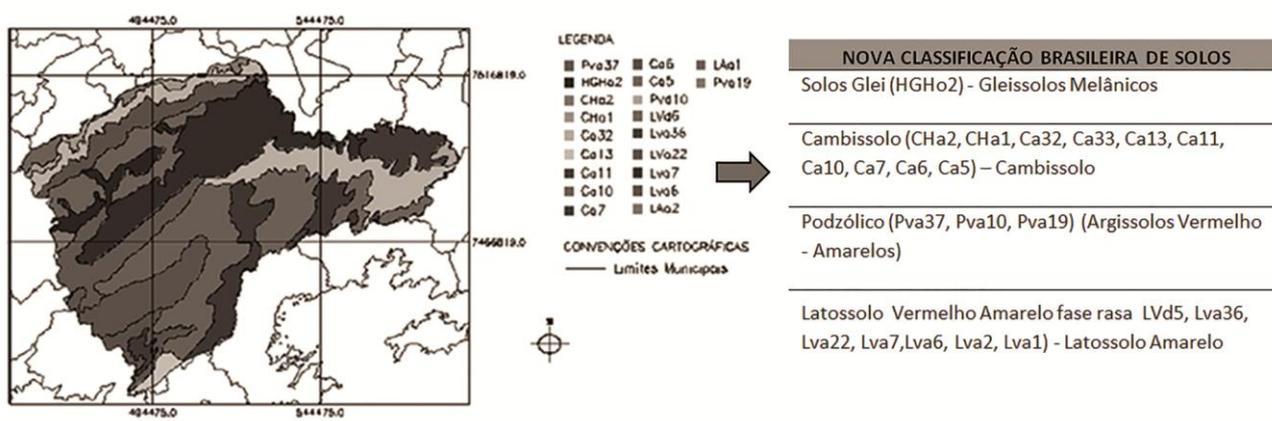


Figura 5. Mapa de Solos. Legenda Macrozoneamento do Vale do Paraíba - MAVALE (Kurkdjian *et. al* 1992). Associação dos grandes grupos (Embrapa 2006).

Tabela 6. Relação dos atributos do variável, Solos, e seus pesos relativos. Associação aos grandes grupos pela classificação de solos (Embrapa 2006)

| Atributos | Pesos | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------------------|-------|---|---|---|---|
| Gleissolos Melânicos | | ■ | | | |
| Cambissolo | | | ■ | | |
| Argissolo Vermelho-Amarelo | | | | ■ | |
| Latossolo Vermelho-Amarelo | | | | | ■ |

Os pesos atribuídos são relativos ao potencial de infiltração das águas nos diferentes grupos de solos presentes na região estudada. As presenças acentuadas de areia na composição dos diferentes grupos de solo definem a maior potencial de infiltração e permeabilidade. Sabe-se também que uma maior concentração de argilas muito impermeáveis ou pouco permeáveis apresenta baixo potencial de infiltração.

O peso 4 (quatro) foi adotado para o Latossolo Vermelho Amarelo, por apresentar características semelhantes às descritas no grupo “A” da Tabela 4. Esses Latossolos se encontram em relevos declivosos, e podem

corresponder Latossolos Vermelho-Amarelos com fase rasa e/ou distróficos.

Já o peso 1 (um) foi atribuído aos Gleissolos, por apresentarem as argilas pouco permeáveis a impermeáveis.

Geologia

O mapa do Substrato Geológico utilizado foi o do DAEE/UNESP (1984) com representação do grau de fraturamento, descrito no Macrozoneamento do Vale do Paraíba - MAVALE (Kurkdjian et. al 1992).

Os fatores analisados para cada atributo da variável determinaram os pesos atribuídos ao mesmo (Figura 6, Tabela 7).

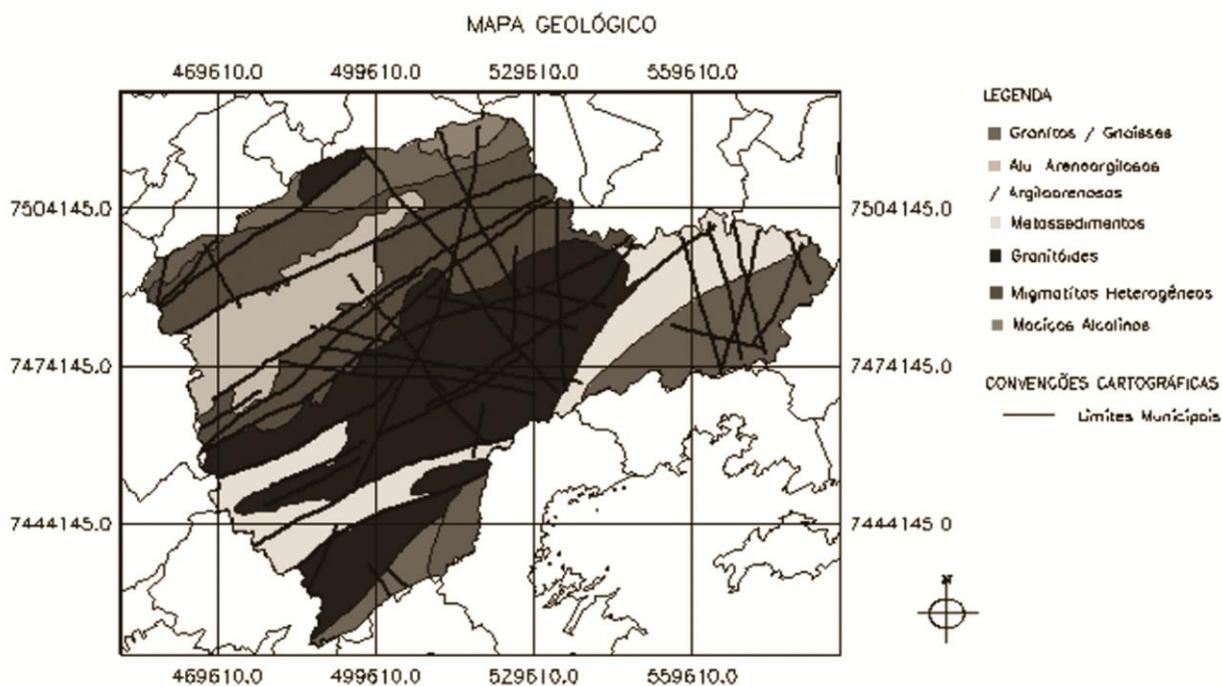


Figura 6. Mapa Geológico. Substrato Geológico DAEE/UNESP (1984) com representação do grau de fraturamento Macrozoneamento do Vale do Paraíba - MAVALE (Kurkdjian et. al 1992).

Tabela 7. Relação dos atributos da variável Geologia e seus pesos relativos.

| Atributos | Pesos | | | |
|---|-------|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Metassedimentos / Maciços Alcalinos | ■ | | | |
| Não Contém | | ■ | | |
| Granitos Gnaisses; Migmatitos Homogêneos; | | | ■ | |
| Aluviões Areno-argilosos; | | | ■ | |
| Aluviões Argilo-arenosos | | | ■ | |
| Granitóides; Migmatitos Heterogêneos | | | | ■ |

Os Metassedimentos e os Maciços Alcalinos representam o menor peso, devido às características presentes nesta unidade geológica. As rochas são de origem cristalina ígnea intrusiva, fortemente coesas, com grau de fraturamento moderado, e muito pouco permeáveis.

Estas rochas são muito resistentes e seu potencial erosivo está associada ao forte escoamento superficial relativo a declividade potencial do relevo nas áreas de ocorrência da variável (Kurkdjian *et. al* 1992).

Com maior peso relativo, segundo o potencial participativo no processo de infiltração, têm-se as classes Granitóides e Migmatitos Heterogêneos. As mesmas apresentam permeabilidade baixa e um grau de fraturamento elevado que representa assim a maior ocorrência de reservatórios. Destaca-se que a ocorrência espacial desta classe esta ligada à localização das áreas de cabeceira dos rios locais (Kurkdjian *et. al* 1992).

Hipsometria

O mapa Hipsométrico foi elaborado segundo metodologia em ambiente SPRING (Câmara *et.al.* 1996).

Com base no uso das curvas de nível (amostras) digitalizadas, gerou-se uma grade numérica com os valores correspondentes, as isolinhas e os pontos cotados. Em seguida foram estabelecidos classes ou intervalos segundo as unidades físicas do relevo da área estudada.

Estes intervalos foram utilizados como critérios para realização de um fatiamento, finalizando-se assim o processo de elaboração do mapa Hipsométrico da área estudada.

Os padrões pré-estabelecidos das unidades físicas do relevo da área estudada (Kurkdjian *et. al* 1992) possibilitaram a definição de 5 (cinco) classes de altitude que variam desde as áreas mais baixas 500 m (Áreas de Várzea) a mais elevadas, 2700 m (Montanhas e escarpas) (Tabela 8, Figura 7 e Tabela 9).

Tabela 8. Relação Unidades Físicas do Relevo e Declividades.

| Faixas de altitude (M) | Unidades Físicas do Relevo | Declividades |
|------------------------|--|--------------------|
| 500 – 550 | Áreas de Várzea | Baixas |
| 550 – 650 | Várzea / Terraços sedimentares e Aluvionares | Baixas |
| 650 – 900 | Colinas e morrotes | Moderadas |
| 900 – 1200 | Morros | Moderadas - baixas |
| 1200- 2700 | Montanhas e escarpas | Altas |

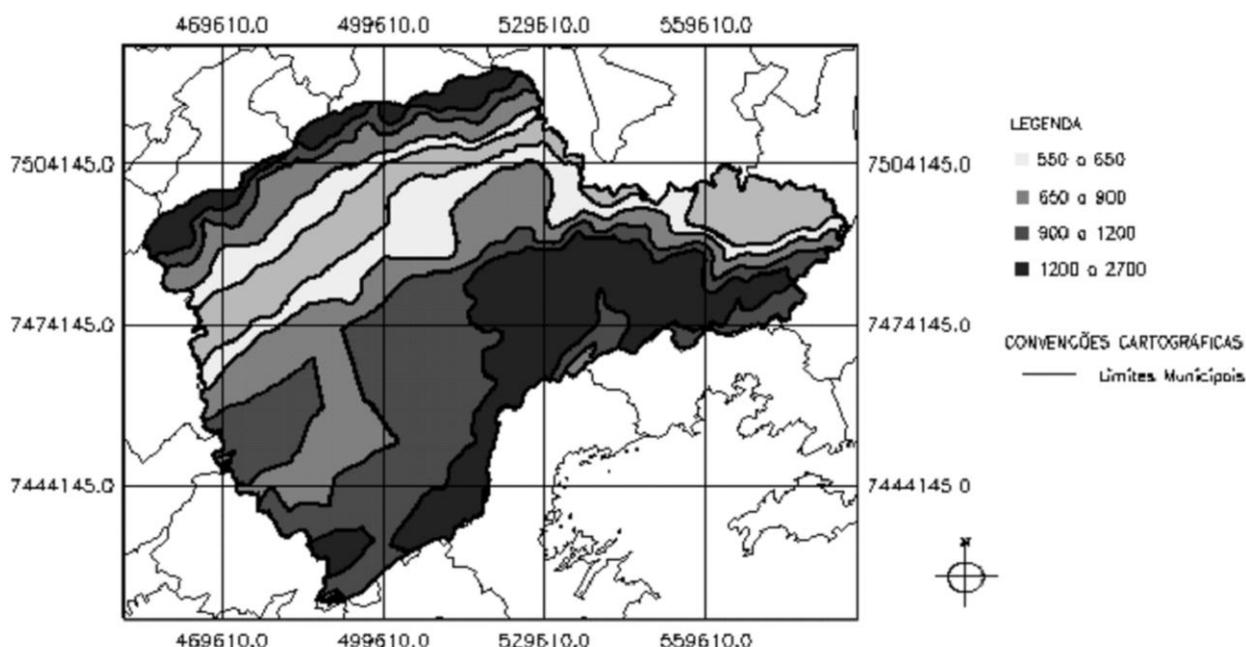


Figura 7. Mapa Hipsométrico.

Tabela 9. Relação dos atributos da variável, Hipsometria, e seus pesos relativos.

| Atributos | Pesos | | | |
|-------------|-------|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1200 - 2700 | | | | |
| Não Contém | | | | |
| 500 – 550 | | | | |
| 550 – 650 | | | | |
| 650 – 900 | | | | |
| 900 - 1200 | | | | |

As características de declividade e as recomendações à ocupação foram adaptadas por (Kurkdjian *et. al* 1992) para o mapa Geomorfológico da área estudada.

Estas informações foram elementos balizadores na qualificação e análise das diversas unidades físicas do relevo segundo seu potencial de infiltração.

O menor peso relativo, segundo o contexto de infiltração é atribuído à classe Montanhas e Escarpas. Esta classe apresenta variações de altitude de 1200 a 2700 metros.

As mesmas caracterizam-se por fortes declives, que podem atingir inclinação de até 60° no relevo, favorecendo assim o escoamento superficial.

Por serem áreas com elevadas declividades há pouca tendência à ocupação urbana.

As áreas um pouco mais abaixo representam menores declives e altitudes que

variam de 900 a 1200 metros (Morros) e que contam também com rochas muito fraturadas.

São raras as ocorrências de grandes focos de urbanização nestas áreas, desmotivados pela forte declividade apresentada em determinados locais e pelo caráter jurídico das Áreas de Proteção Ambiental.

Outras variáveis que merecem destaque são as localizadas nas regiões mais baixas, correspondendo às Áreas de Várzea e Terraços Sedimentares e Aluvionares (500 – 550 / 550 – 650 - metros de altitude). As mesmas são áreas de descarga de aquífero (freático) e, por conseguinte têm predomínio de descarga e não recarga. Estas áreas receberam qualificadores intermediários no modelo proposto. Os terraços por sua forte ocupação e impermeabilização do solo se encontram nesta classe.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Integração dos Dados Temáticos com seus Pesos Agregados (Geração da grade de valores de atributos)

Para a realização desta fase, elaborou-se um programa em Linguagem Espacial para

Geoprocessamento Algébrico – LEGAL (Câmara, 1996), intitulado Ponderação.

Todas as variáveis após a atribuição de seus respectivos pesos-relativos foram submetidas à aplicabilidade deste recurso (Figura 8).

```
{
Digital grdPluv ("Dtm");

Tematico Pluv ("Isolinhas_pluviosidade");

Tabela wei (Ponderacao);

Pluv = Recuperar (Nome="Isolinhas_pluviosidade");

grdPluv =
Novo (Nome = "Grade_Pluv", ResX=50, ResY=50, Escala=250000, Min=0, Max=4);

wei=Novo (CategoriaIni="Isolinhas_pluviosidade",
          "80 - 90":1,
          "90 - 100":2,
          "100 - 110":3,
          "110 - 120":4);
grdPluv = Pondere (Pluv, wei);
}
```

Figura 8. Exemplo de Programação em Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico – LEGAL (Câmara et.al. 1996).

Este programa tem como função atribuir os valores numéricos pré-estabelecidos e ponderados segundo o potencial de infiltração das classes das variáveis representadas nos mapas temáticos. Gerando-se assim uma grade numérica de valores ponderados e uma imagem em níveis de cinza para cada variável temática mapeada.

Integração das Grades de Valores Numéricos das Variáveis Presentes na Área Estudada

Para execução desta fase foi necessária a elaboração de outro programa, intitulado, “Equação de Soma de Grades”. Utilizando-se para tanto da Programação em Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico – LEGAL (Câmara et.al. 1996). Este procedimento tornou possível realizar a ação de soma das grades numéricas de valores, geradas para cada elemento da paisagem. Obtendo-se então uma nova grade de valores como também sua respectiva imagem em níveis de cinza (Figuras 9 e 10).

```

{
Numerico Prec ("Dtm");
Numerico Uso ("Dtm");
Numerico Pedol ("Dtm");
Numerico Geol ("Dtm");
Numerico Hips ("Dtm");
Numerico Ahomogeneas ("Dtmhomogeneas");

Prec = Recuperar (Nome = "Grade_pluv");
Uso = Recuperar (Nome = "Grade_uso");
Pedol = Recuperar (Nome = "Grade_pedol");
Geol = Recuperar (Nome = "Grade_geol");
Hips = Recuperar (Nome = "Grade_hips");

Ahomogeneas = Novo (Nome = "Ahomogeneas", ResX = 50, ResY = 50, Escala =
250000, Min = 0, Max = 20);

Ahomogeneas = (Prec + Uso + Pedol + Geol + Hips);
}

```

Figura 9 Exemplo de Programação em Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico – LEGAL (Câmara et.al. 1996), desenvolvida para execução deste trabalho. “Equação de Soma de Grades”

A grade numérica resultante apresenta uma variação de valores entre 5 (cinco) e 20 (vinte) pontos, pois atribuídos às variáveis os pesos que variam de 1 (um) a 4 (quatro) e

contando com 5 (cinco) variáveis, a razão máxima da integração destes elementos é determinada pelo valor 20 (vinte) e a mínima pelo valor 5 (cinco).

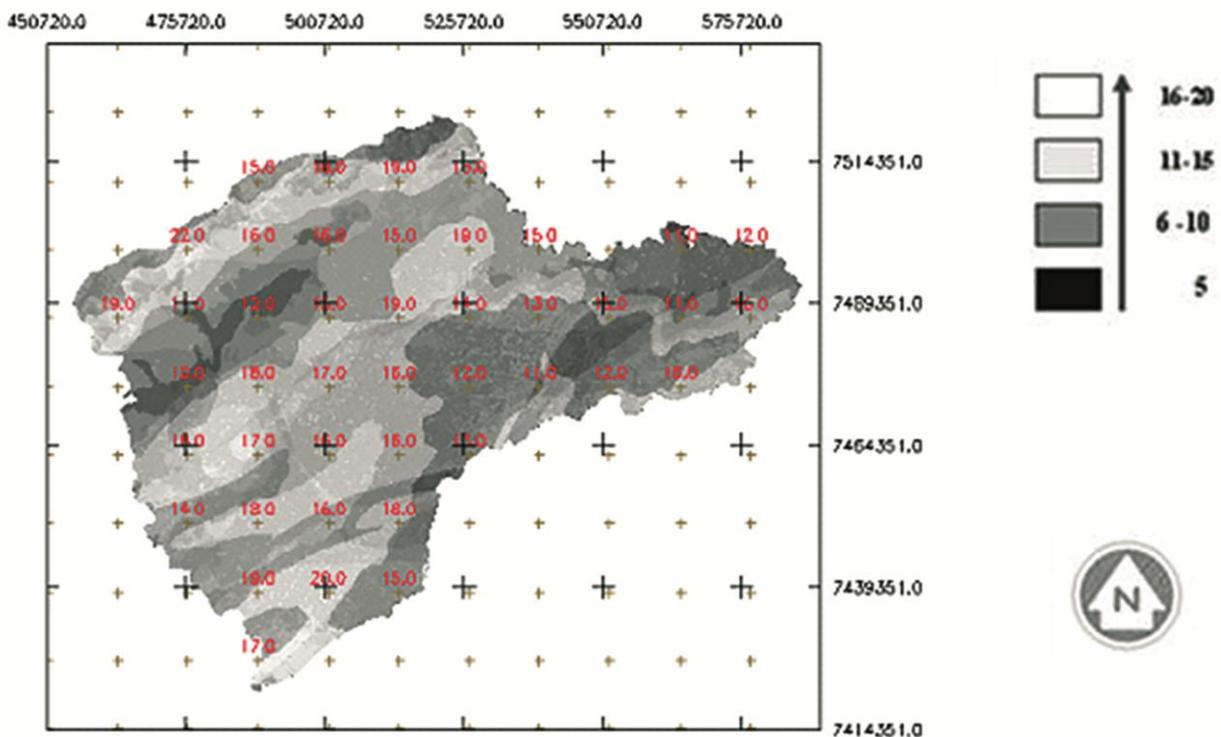


Figura 10. Grade numérica e imagem em níveis de cinza resultante da integração dos dados.

Qualificação dos Intervalos de Valores Representativos e Detecção dos Conjuntos de Eventos Homogêneos segundo o Potencial de infiltração na Área de Estudo

Após a elaboração da grade numérica resultante da integração dos pesos atribuídos aos elementos da paisagem, estabeleceu-se um

conjunto de intervalos variando entre os valores mínimos e os valores máximos adotados.

Isto tornou possível a detecção dos “Clusters” ou os “conjuntos espaciais de números contidos no mesmo intervalo”, na área estudada representando as diferentes dimensões dos dados potenciais agrupados.

Para melhor expressar o conceito de qualidade de áreas segundo seu potencial de infiltração e recarga, como também tornar possível à visualização em um mapa temático estabeleceu-se uma linguagem de qualificadores que representem cada um destes intervalos (Tabela 11).

Tabela 11. Intervalos propostos para o fatiamento da grade numérica e seus respectivos qualificadores, segundo a participação no processo de infiltração e recarga.

| Valores | Qualificadores |
|---------|----------------|
| 5 | Regular |
| 6 – 10 | Moderada |
| 11 – 15 | Boa |
| 16 – 20 | Muito boa |

Elaboração do Mapa Síntese das Áreas Homogêneas

O mapa síntese, representando as zonas homogêneas com maior potencial de infiltração e recarga para a área estudada foi resultado da metodologia apresentada, como também da elaboração de um programa em Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico – LEGAL (Câmara et.al. 1996), denominado “Fatiamento de Áreas Homogêneas”

A grade numérica contendo a soma dos pesos atribuídos, a todas as 5 (cinco) variáveis, estes segundo a potencial de infiltração e recarga é então fatiada utilizando-se os parâmetros contidos na tabela 11.

Isto tornou possível a elaboração do mapa temático de Zonas Homogêneas, segundo a participação dos elementos da paisagem no processo de potencial de infiltração e recarga na bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.

Um maior detalhamento dos resultados da dinâmica de integração dos dados pode ser obtido com a diminuição dos valores dos intervalos. Ampliando assim o universo qualitativo frente a integração dos dados selecionados. No entanto o caráter exploratório deste trabalho permitiu a realização da análise baseando-se em 5 classes qualitativas (Figura 11).

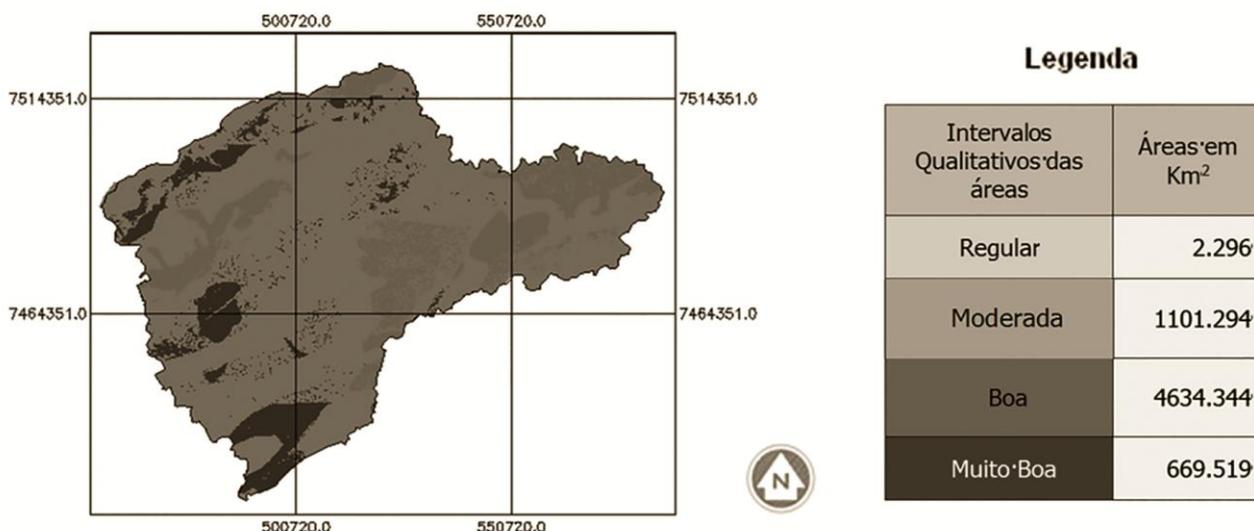


Figura 11. Mapa das Zonas Homogêneas segundo o potencial de infiltração e recarga dos elementos da paisagem na bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul - SP - Brasil. Projeção cartográfica UTM / WGS84, origem W 45° 00' 00", Zona S 23° 00' 00".

Tabela 12. Valores de áreas em km² - com a ocorrência dos eventos

| Intervalos Qualitativos das áreas | Áreas em Km ² | Áreas em% |
|-----------------------------------|--------------------------|-----------|
| Muito boa | 669.519 | 10,45 |
| Boa | 4634.344 | 72,33 |
| Moderada | 1101.294 | 17,19 |
| Regular | 2.296 | 0,04 |

DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de dados secundários de diversas fontes apresentou-se como uma limitação metodológica, não permitindo uma análise pelo método contínuo, possibilitando apenas a análise através de indicadores booleanos, uma vez que a análise final ficou dependente ao gerador primário do dado.

Os resultados obtidos tornaram possível inferir a respeito da potencial de infiltração e recarga da área de estudo. Ao observar o Mapa das Zonas Homogêneas segundo o potencial de infiltração a grande maioria dos clusters espaciais é relacionada às classes Muito Boa, Boa e Moderada, o que corresponde a 99,96% do total da área analisada.

A possibilidade de se aplicar uma metodologia que favoreça não somente a detecção de áreas com potencialidade à disponibilidade de recursos hídricos como também a geração de subsídio às políticas públicas municipais, no tocante a viabilidade de alternativas à ocupação e a estruturação de planos de expansão urbanas, apresentou-se bastante proveitosa.

Considerando que a grande maioria das particularidades e das variáveis utilizadas na elaboração deste não podem ser modificada ou mesmo corrigidas em uma escala de tempo humano, torna-se de suma importância avaliar e recriar conceitos a respeito de políticas de zoneamento urbano e rural. Muitas das áreas propícias à disponibilidade hídrica apresentam indicadores baixos em virtude da ocupação desenfreada, expansão de silviculturas e pecuária.

Avaliar a paisagem segundo a integração de seus elementos é atribuir valores a processos e formas contidas no meio estudado, considerando-se sempre que a paisagem de um local é reflexo de um conjunto de elementos integrados de forma vertical e horizontal.

Assim, destaca-se que o maior número de áreas homogêneas está caracterizado pelo qualificador de potencial de infiltração “Boa” com 72,33% do total, estas áreas apresentam rochas bastante permeáveis, declividades baixas, altos índices pluviométricos, mas muitas vezes a cobertura vegetal reflete a negligente política territorial e a carência de desenvolvimento sustentável da região. A grande faixa de Mares de Morros e Colinas e Morrotes presentes na região apresentam a cobertura vegetal de pastagem que muitas vezes são expostas a queimadas ilegais para que não se caracterize a recomposição florestal “Pioneira”. Sua recuperação já corresponderia a uma melhora significativa no cenário estudado.

A classe de potencial de infiltração “Muito boa” com 10,45% , em geral se caracteriza pela localização na região de mananciais, estes protegidos por lei e com sérias implicações de uso.

As áreas de classe “Moderada e Regular” apresentam juntas 17,22% estes qualificadores se apresentaram assim por abarcarem as áreas com maior intensidade de urbanização e também por simplesmente corresponder às áreas que não contam com bons qualificadores globais em seus elementos da paisagem. É o caso da zona próxima à nascente do rio Paraíba do Sul que apresenta bons qualificadores, mas altas declividades, o que dificulta a infiltração.

Geograficamente a distribuição espacial das zonas homogêneas se apresenta com os 669.519 km² de áreas com potencial “Muito bom” de recarga, ocupando a região Noroeste da área de estudo e com o valor percentual de ocorrência de 10,45 %, as mesmas apresentam-se com altitudes compreendidas entre 900 e 2700 metros, o que as relacionam às unidades geomorfológicas, Mares de Morros e Escarpas compondo assim o Complexo Mantiqueira com embasamento em Granitos e Gnaisses,

Migmatitos Heterogêneos e Maciços Alcalinos estes com diversas fraturas e falhas em sua composição estrutural, os grupos de solos são caracterizados por Latossolos Vermelho Amarelo e Cambissolo com ocorrência de cobertura vegetal de Matas, Reflorestamentos e Pastagens/ Áreas Agrícolas, os níveis pluviométricos se estabelecem na faixa dos 100 a 120 milímetros em média anual.

Ocorrem também áreas de recarga e infiltração potencial com qualificador “Muito bom” nas zonas de Várzea. As Várzeas da região estudada caracterizam-se por altitudes que variam de 550 a 650 metros, mas podem ocorrer em outras áreas mais elevadas devido à complexa rede de rios presente na região. Os solos são predominantemente sedimentares, tais como as Aluviões Arenosas, mas na faixa de transição se encontram os Latossolos Vermelho Amarelo, assim como os Argissolos, os níveis pluviométricos variam de 80 a 120 milímetros durante o ano e as coberturas vegetais predominantes são as Pastagens/ Áreas Agrícolas, os Reflorestamentos e fragmentos de Mata.

Na porção sul da área de estudo a ocorrência das zonas homogêneas com “Muito

bom” potencial de recarga e infiltração está relacionada a altitudes que variam de 900 a 2700 metros, com predominância de Granitóides, Migmatitos Heterogêneos, Granitos e Gnaisses pouco fraturados, os solos são caracterizados por solos Argissolos, Cambissolos, com ocorrência de cobertura vegetal de Matas, Reflorestamento e Pastagens/ Áreas Agrícolas e índices pluviométricos variando entre 100 e 110 milímetros ao ano.

As áreas homogêneas classificadas com os qualificadores, “Bom” e “Moderado” corresponderam a 5735,64 km² ou um total de 89,52 % da área estudada. Os mesmos abarcam as mais variadas composições integradas dos elementos da paisagem, no entanto suas estruturas se apresentam com baixos qualificadores devido à cobertura vegetal que se encontra bastante suprimida e modificada. Outro fator correspondente a estas áreas é a questão expansão urbana na região, as áreas potencialmente qualificadas como boas e moderadas, estas devido à altitude predominante de 550 a 900 metros, são objetos de especulação e ocupação, o que dificulta a recuperação e reestruturação do sistema

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves Costa, M. 2006. Seleção de Áreas Potenciais para Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, São Paulo – Brasil. Dissertação de Mestrado Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP - Instituto de Geociências, Campinas – SP, [s.n], Nº 355/2006.
- Bertrand, G. (1971) *Revue Géographique des Pyrenées et du Sud-Quest Toulouse*, 1968 - traduzido por Cruz, O. - Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia, São Paulo.
- Capra, Fritjof. (1999) *Ecoliteracy: the challenge for education in the next century*. Liverpool Schumacher lectures, Berkeley, California. March 20.
- Christofolletti, A. (1974) *Geomorfologia*. São Paulo, Edgard Blucher, 149p.
- Coltrinari, L. Z. D. (1974) *Contribuição e geomorfologia da região de Guaratinguetá – Aparecida*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo.
- Daee / Unesp. (1984). *Mapas Geológicos do Estado de São Paulo*, escala 1:250.000. Folha São Paulo, Guaratinguetá e Santos. Departamento de Águas e Energia Elétrica; Universidade Estadual Paulista.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília, 2006, 2ª Edição, 306p.
- Garcez, L.N. (1988) Alvarez, G.A. *Hidrologia*. 2ed. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 291p.
- Genovez, A. M.; L. F. C. De Oliveira; A.I. Borri Genovez (2000) – *Chuvvas Intensas no Estado de São Paulo: Isoietas de Precipitação Máxima Diária*. A Água em Revista, CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.
- Horton, R.E. (1940) *An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity*. *Soil Science Society of America Proc.*, 5: 399-417. Validation
- Humboldt, Alexander Von. (1811) *Atlas géographique et physique du royaume de la Nouvelle Espagne*.
- Instituto Florestal / Fundo Estadual De Recursos Hídricos - Fehidro. (2001) *Levantamento da Vegetação Natural e Reflorestamento e Constituição de Base Georreferenciada da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul / Mantiqueira (Cd RW)*.
- Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística – IBGE. (1965) *Levantamento Cartográfico do Território Nacional em escala 1:100.000*.
- Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística – IBGE. (1973) *Plano Cartográfico do Estado de São Paulo em escala 1:50.000*.
- Spring. *Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas*. (1996).
- Kurkdjian, M. L. N. O; Valério Filho, M; Veneziani, P; Pereira, M. N.; Florenzano, T. G.; Dos Anjos, C. E.; Ohara, T.; Donzeli, P.L.; Abdon, M. N.; Sausen, T. M.; Pinto, S.A. F.; Bertoldo, M. A.; Blanco, J. G.; Czordas, S. M. (1992) *Macrozoneamento da Região do Vale do Paraíba e Litoral Norte do estado de São Paulo*. São José dos Campos, 176. (INPE- 5381-prp/165).
- Lombardi Neto, F.; Junior, R. B.; Lepsh, I. G.; Oliveira, J. B.; Bertolini, D.; Galeti, P. A.; Drugowich, M. I.

- (1991) Terraceamento. Agrícola. Boletim téc. 206, Secretaria de Agricultura e Abastecimento, CATI, Campinas, 39 p.
18. Morelli, A. F. (2002) A transformação da paisagem no município de São José dos Campos (SP)- 1500 a 2000. Tese de doutorado. Universidade do Estado de São Paulo- UNESP, Instituto de Geociências e Ciências Exatas- Campus Rio Claro.
 19. Pereira, M.N.; Novo, E.M.L.M; Kurkdjian, M. L. N. O.; D´Alge, Jcl. (1988) Atualização do uso da terra do município de São José dos Campos através de dados de sensoriamento remoto, INPE - DPA, p.71, CDU-528.711.7:551.4.
 20. Saint Hilaire, Auguste. Segunda Viagem ao Rio de Janeiro, a Minas Gerais e a São Paulo (1822). São Paulo: Nacional. (tradução de Affonso de E. Taunay).
 21. Starzinski, R. (2004) Precipitação. In: III Curso sobre Recursos Hídricos: Produção, Conservação e Recuperação. Cunha – São Paulo.
 22. Tucci, C.E.M. (1993) Hidrologia – Ciência e Aplicação, Porto Alegre, Ed. da Universidade, Abrh, Edusp, 1993.
 23. Valerio Filho, M; Alves, M; Fantin, M; GARCIA, R. (2002) Geotecnologias Aplicadas na Avaliação das Áreas Urbanizadas e seus Impactos na Rede de Drenagem. Simpósio Nacional de Impactos Ambientais Urbanos, Curitiba- PR.

*Manuscrito recebido em: 08 de setembro de 2011
Revisado e Aceito em: 12 de setembro de 2013*