

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM GEOLOGIA SEDIMENTAR E AMBIENTAL**

**TESE DE DOUTORADO**

**MAPA DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS NA REGIÃO  
METROPOLITANA DO RECIFE**

**DOUTORANDO: PEDRO AUGUSTO DOS SANTOS PFALTZGRAFF  
ORIENTADORA: DRa. MARGARETH M. ALHEIROS  
CO-ORIENTADORA: DRa. ANA LÚCIA B. CANDEIAS**

**RECIFE  
2007**

PEDRO AUGUSTO DOS SANTOS PFALTZGRAFF

Geólogo, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 1984  
Mestre, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1994

**MAPA DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE RECIFE**

Tese que apresenta à Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, orientada pelo Profa. Margareth M. Alheiros, e co-orientação da Profa. Ana Lúcia B. Candeias como preenchimento parcial dos requisitos para obtenção do grau de Doutor em Geociências, área de concentração. geologia sedimentar e ambiental.

**RECIFE, PE**  
**2007**

**MAPA DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE RECIFE**

**PEDRO AUGUSTO DOS SANTOS PFALTZGRAFF**

Aprovado:

Margareth M. Alheiros data

Ana Lúcia B. Candeias data

Noris C.Diniz data

Virginio H. Neumann data

Marcelo Reis data

## **RESUMO**

A Região Metropolitana do Recife (RMR) há muitos anos convive com os deslizamentos nos morros, onde mora uma elevada parcela da população e, que ocasionaram dezenas de mortos e feridos ao longo das décadas de 1980 e 1990. Assim, é importante que o poder público disponha de ferramentas eficazes para localizar as áreas naturalmente suscetíveis a deslizamentos, tanto ocupadas como aquelas ainda livres de ocupação, facilitando assim a sua gestão.

A metodologia aqui proposta, objetiva diminuir os custos da elaboração de mapas de suscetibilidade a deslizamentos, utilizando ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto tais como imagens de radar e de satélite além, de outras informações sobre o meio físico disponíveis gratuitamente na Internet.

Utilizando o método da álgebra de mapas (superposição dos diversos temas), foi possível gerar o mapa de suscetibilidade a deslizamentos, bastante confiável, quando comparado com aquele produzido por Alheiros (1998), que utilizou métodos analógicos, e os mapeamentos de áreas de risco existentes.

O Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos possibilita aos administradores e gestores governamentais, informações para o planejamento, subsidiando a implantação de loteamentos, conjuntos habitacionais, estradas e demais obras de infra-estrutura sendo seu uso direcionado ao ordenamento e planejamento territorial.

Palavras-Chave: Suscetibilidade, Deslizamentos, Movimentos de Massa, Riscos

Geológicos, Região Metropolitana do Recife, Geoprocessamento



## **AGRADECIMENTOS**

A professora Margareth M. Alheiros, orientadora desta tese, por seu apoio e dedicação durante todo este trabalho, me permitindo assimilar um pouco do conhecimento e das qualidades técnicas e acadêmicas de uma profissional amplamente reconhecida no meio científico brasileiro.

A professora Ana Lúcia B. Candeias, co-orientadora desta tese, que muito auxiliou na discussão do uso das ferramentas de sensoriamento remoto e SIG e, do formato de apresentação dessas informações.

A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, pela autorização e apoio técnico e logístico para o desenvolvimento desse trabalho.

A Universidade Federal de Pernambuco e seus professores que sempre foram bastante solícitos, quando do aparecimento de alguma dificuldade técnica ou administrativa para o desenvolvimento dessa tese.

Aos colegas Rogério V. Ferreira, Enjolas de A. M. Lima e Hortência B. Assis pelas sugestões e críticas ao texto final bem como, pelo incentivo e companheirismo ao longo de todo o trabalho de desenvolvimento dessa tese.

## ABSTRACT

The use of Remote Sensing and Geographical Information Systems (SIG) tools constitute alternative technologies of decreasing cost along the last decade, allowing planners of all government spheres in the process of more appropriate and efficiently planning the use of the soil and of the environment protection.

The evaluation and the spatialization of the natural susceptibility to mass movements (sliding) are important tools in the measurement, giving to the public manager a new knowledge regarding possible problems in areas heavily occupied, or in the occupation phase.

The Metropolitan Area of Recife (RMR), northeast Brazil, for many years lives together with the hills and slopes collapsing issues, where a high portion of the population lives, the majority consisting of low income people. These collapses caused dozens of dead and wounded persons along the 1980 and 1990 decades. It is important that the government agencies should effectively use these tools to properly locate the areas susceptible to collapsing, facilitating the administration.

The methodology here proposed aims to reduce the costs of the elaboration of susceptibility maps, using geoprocessing tools and such remote sensing tools as SRTM radar images (Shuttle Radar Topographic Mission), Landsat satellite images, Geocover and CBERS, and other information available via Internet. Regarding SRTM images, they can extract relatively important information concerning planimetry, orientation of hillsides and horizontal and vertical profiles, satellite images concerning the use of the soil and geomorphology. Such information, inserted in SIG's (Geographical Information Systems), allow the reclassification and updating of these parameters. They allow those operations to be repeated several times, in the search of the adjustment to the wanted model.

These data were obtained after the processing of the data of SUDENE topographical sheets (Superintendency of Development of the Northeast) and of SRTM, the maps of hillsides (horizontal and vertical) profiles, and also the level curves that made it possible to generate the topographical map of the area. Using the method of the algebra of maps (overlap of several themes), it was possible to generate the susceptibility map to sliding, quite reliable, when compared with the mapping of existent risky areas.

The newly obtained map, when compared with the one produced by Alheiros (1998), got 71,72% of similarity among the areas of susceptibility classes. Though, when compared with the risk map elaborated for the municipal district of Recife, the value arrives to 79, 42%.

The values among the several susceptibility classes in RMR show, respectively, that 49,68% of the RMR area present low susceptibility to the sliding events, 47,80% average susceptibility and 2,51% high susceptibility to the sliding, with variations depending on the used topographical data (if it was extracted from the SUDENE topographical sheets or of the SRTM radar).

The “map of susceptibility to sliding events” makes it possible to administrators and government managers to utilize it plainly, giving precious information for the planning acts, subsidizing the implantation of divisioning the land into lots, habitational groups, highways and other infrastructure works. In the areas already occupied it is possible to get a general vision of the most susceptible areas to sliding, aiding the public agencies to re-directing their programs for risk reduction.

This map can help in the visualization, in regional scale, of the areas with natural characteristics that can demand larger care and attention from technicians for the land occupation.

As a restriction, there are some considerations. The greatest of them concerns the scale (1:100,000), addressing its use to the territorial planning, not being recommended for situations that need maps of greater scale, as it is the case of determining risk areas.

**Keywords:** Susceptibility, Metropolitan Area of Recife, Geoprocessing, Geographical Information Systems

*Resumo*

*Agradecimentos*

*Abstract*

## **SUMÁRIO**

|                |  |    |
|----------------|--|----|
| <b>Cap. I</b>  | <b>Introdução</b>  |    |
|                | 1 Introdução.....  | 1  |
|                | 1.1 Escolha do Tema.....   | 2  |
|                | 1.2 Objetivos.....   | 3  |
|                | 1.3 Sistemática de Trabalho.....   | 4  |
| <br>           |  |    |
| <b>Cap. II</b> | <b>Revisão do Tema e Estágio Atual do Conhecimento</b>                         |    |
|                | 2.1 Introdução.....  | 5  |
|                | 2.2 Riscos Ambientais.....   | 5  |
|                | 2.3 Análise de Risco.....  | 11 |
|                | 2.4 Cartografia de Riscos no Brasil.....                                       | 13 |
|                | 2.5 Suscetibilidade Natural e Suscetibilidade Induzida.....                    | 13 |
|                | 2.6 Classificação dos Métodos de Estudo.....                                   | 16 |
|                | 2.6.1 Metodologias Mais Utilizadas.....  | 20 |
|                | 2.6.2 O Modelo Shalstab.....   | 23 |
|                | 2.7 Correlação Entre Chuvas e Deslizamentos.....                               | 24 |
|                | 2.7.1 Correlação Entre Chuvas e Deslizamentos na RMR.....                      | 26 |
|                | 2.8 Fatores Antrópicos Condicionantes dos Deslizamentos nas Áreas Urbanas..... | 30 |
|                | 2.9 Caracterização dos Movimentos de Massa.....                                | 30 |
|                | 2.9.1 Classificação dos Movimentos de Massa.....                               | 31 |
|                | 2.10 Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento.....                              | 35 |
|                | 2.11 Características das Imagens Utilizadas.....                               | 36 |
|                | 2.11.1 Imagens GEOCOVER.....   | 36 |
|                | 2.11.2 Imagens CBERS2.....   | 36 |
|                | 2.11.3 Imagens LANDSAT.....  | 37 |
|                | 2.11.4 Imagem SRTM.....  | 38 |
|                | 2.12 Sistema de Informações Geográficas.....                                   | 41 |

|                 |   |    |
|-----------------|---|----|
| <b>Cap. III</b> | <b>Caracterização da Área</b>   |    |
|                 | 3.1 Caracterização Político-Administrativa.....                       | 44 |
|                 | 3.2 Geologia.....   | 45 |
|                 | 3.2.1 O Embasamento Cristalino.....                                   | 47 |
|                 | 3.2.2 As Bacias Sedimentares.....                                     | 49 |
|                 | 3.2.3 Formação Barreiras.....   | 54 |
|                 | 3.2.4 As Unidades Quaternárias.....                                   | 54 |
|                 | 3.3 Clima.....  | 57 |
|                 | 3.4 Hidrografia.....  | 59 |
|                 | 3.5 Relevo.....   | 62 |
|                 | 3.6 Solos.....  | 64 |
|                 | 3.7 Cobertura Vegetal.....  | 65 |
| <br>            |   |    |
| <b>Cap. IV</b>  | <b>Deslizamentos na Região Metropolitana do Recife</b>                |    |
|                 | 4.1 Breve Histórico.....  | 67 |
|                 | 4.2 Deslizamentos na RMR.....   | 67 |
|                 | 4.3 Gerenciamento de Riscos Geológicos na RMR .....                   | 68 |
|                 | 4.4 Documentação Fotográfica.....                                     | 69 |
| <br>            |   |    |
| <b>Cap. V</b>   | <b>Materiais e Métodos</b>  |    |
|                 | 5.1 Considerações Iniciais.....                                       | 71 |
|                 | 5.2 Sensoriamento Remoto.....   | 72 |
|                 | 5.2.1 Tratamentos Aplicados às Imagens de Satélite.....               | 72 |
|                 | 5.2.2 Precisão dos dados Fornecidos pelo SRTM.....                    | 73 |
|                 | 5.2.3 Uso das Imagens SRTM.....                                       | 75 |
|                 | 5.2.4 Pré Tratamento das Imagens SRTM.....                            | 75 |
|                 | 5.3 Modelo Digital de Terreno.....                                    | 76 |
|                 | 5.3.1 Extração Automática da Drenagem.....                            | 79 |
|                 | 5.3.2 Mapa de Declividades.....                                       | 82 |
|                 | 5.3.3 Perfil de Encostas.....   | 82 |
|                 | 5.4 Mapa Geomorfológico.....  | 85 |
|                 | 5.5 Mapa de Uso do Solo.....  | 85 |
|                 | 5.6 Elaboração do Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos da RMR..... | 86 |

## **Cap. VI Suscetibilidade a Deslizamentos na Região Metropolitana do Recife**

|   |     |
|---|-----|
| 6.1 Importância dos Fatores Ambientais na Análise da Suscetibilidade                                  | 88  |
| 6.1.1 Geologia.....   | 88  |
| 6.1.2 Geomorfologia.....  | 89  |
| 6.1.3 Vegetação.....  | 90  |
| 6.1.4 Solos.....  | 92  |
| 6.2 Avaliação do Grau de Importância de cada Tema.....  | 92  |
| 6.3 Validações do Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos.....  | 101 |
| 6.4 Distribuição das Classes de Suscetibilidade nos Municípios da Região Metropolitana de Recife..... | 107 |
| 6.5 Aplicações e Restrições do mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos .....                          | 108 |

## **Cap. VII Conclusões .....110**

## **Referências Bibliográficas .....113**

### **Anexos**

Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos na Região Metropolitana do Recife (com dados do SRTM)

Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos na Região Metropolitana do Recife (com dados topográficos da SUDENE)

Mapa das Bacias Hidrográficas da Região Metropolitana do Recife

Mapa Geomorfológico da Região Metropolitana do Recife

Mapa Geológico da Região Metropolitana do Recife

Mapa de Perfis Verticais de Encostas da Região Metropolitana do Recife

Mapa de Perfis Horizontais de Encostas da Região Metropolitana do Recife

Mapa de Solos da Região Metropolitana do Recife

Mapa de Uso do Solo na Região Metropolitana do Recife

Tabela de Pesos dos Parâmetros das Unidades Geológicas

Tabela de Pesos dos Parâmetros das Unidades de Solo

Memória de Cálculo

## CAPITULO I - INTRODUÇÃO

Assistimos nestes últimos 40 anos a um intenso processo de urbanização da população brasileira. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE (2000), o último censo populacional mostrou que 82% da população brasileira vive em áreas urbanas.

Essa concentração da população nos grandes centros urbanos não tem sido acompanhada de programas governamentais eficientes para o uso e ocupação do solo. Isso leva, principalmente, a população mais carente a ocupar áreas naturalmente inadequadas ou, suscetíveis a riscos naturais e que são ocupadas sem os mínimos preceitos técnicos.

Dessa forma, constata-se a ocupação de áreas com elevadas declividades, inundáveis e com solos colapsíveis ou com camadas de argila mole, que deixam as populações residentes nestes locais, sujeitas às inundações periódicas e deslizamentos, levando a perda de vidas e bens, gerando um ônus ambiental, social e financeiro para as cidades assim ocupadas.

Existem alguns aspectos fundamentais que devem ser levados em conta para o planejamento e gestão do espaço físico, com suas suscetibilidades e possibilidades de ocorrência de processos geológicos.

Dentro deste contexto, a espacialização e a avaliação da suscetibilidade a movimentos de massa (deslizamentos), são importantes na medida em que propiciarão ao gestor (municipal, estadual ou federal), se precaver quanto a possíveis problemas em áreas ainda não ocupadas, mas com planos de ocupação ou ainda, áreas já ocupadas ou em fase de ocupação.

O uso de ferramentas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são tecnologias alternativas de custo decrescente ao longo da última década, que podem auxiliar os planejadores de todas as esferas de governo, no processo de planejamento mais adequado e eficiente do uso do solo e da proteção do meio ambiente.

Atualmente, encontram-se disponíveis gratuitamente, softwares como o Spring (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), imagens de satélite CBERS (China-Brazil Earth Satellite) e radar SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), dados meteorológicos e estatísticos diversos que, mesmo prefeituras e órgãos públicos sem muitos recursos financeiros podem dispor para seus projetos de uso e ocupação do solo.

A Região Metropolitana do Recife há muitos anos convive com os deslizamentos nos morros onde mora uma elevada parcela da população, em sua maioria de baixa renda. Esses desmoronamentos ocasionaram dezenas de mortos e feridos ao longo das últimas décadas. Assim, é importante que o poder público disponha de ferramentas eficazes para localizar as

áreas naturalmente suscetíveis a deslizamentos, tanto ocupadas como aquelas ainda livres de ocupação.

No trabalho aqui apresentado, foi elaborado um mapa de suscetibilidade a escorregamentos (problema comum a vários municípios brasileiros), utilizando-se ferramentas de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas, de baixo custo e elevada eficiência. Esse mapa é mostrado na escala de 1:100.000, sendo compatível com projetos de planejamento regional.

Um mapa similar foi elaborado por Alheiros (1998) tendo, entretanto, utilizado apenas ferramentas e métodos tradicionais, como a superposição de mapas analógicos.

Muito embora a RMR sofra com o problema dos deslizamentos há várias décadas, poucos autores (Alheiros e Gusmão Filho) têm se dedicado ao estudo da suscetibilidade e do risco de deslizamentos nessa região.

A abordagem direcionada para o uso de SIG e o uso de ferramentas de sensoriamento remoto é avaliada neste trabalho, mostrando uma metodologia diferente de todos os trabalhos realizados anteriormente sobre o tema na RMR.

É importante citar que a escala escolhida de 1:100.000, destina-se fundamentalmente, as atividades de planejamento de competência dos órgãos de governo. Embora essa escala possa sugerir pouco detalhamento cartográfico, é vasta a lista de mapas publicados sobre a Região Metropolitana do Recife pelo órgão gestor Fundação para Integração e Desenvolvimento da Região Metropolitana (FIDEM), atual Agência Condep/Fidem, tais como os mapas Hipsométrico, de Cobertura Vegetal e, Rodoviário da Região Metropolitana do Recife.

## **1.1 A escolha do tema**

O crescimento da população mundial, principalmente nas áreas urbanas, tem levado a ocupação de locais naturalmente sujeitos a desastres geológicos, o que vem criando também situações de risco para a vida e as propriedades dessas populações.

A geologia, através do estudo do meio físico, e dos processos naturais e antrópicos, possibilita o conhecimento das suscetibilidades, perigos e riscos geológicos a que está sujeita uma determinada área. Dessa forma é possível delimitar, espacialmente, áreas mais seguras ou mais problemáticas para ocupação humana e sugerir medidas de remediação onde existam problemas já instalados.



Assim, a geologia adquire um cunho mais prático e sintonizado com os problemas sociais atuais, criando um elo entre o conhecimento acadêmico e a prática diária da gestão dos espaços públicos.

Quando o tema suscetibilidade a deslizamentos na Região Metropolitana do Recife-RMR foi escolhido, levou-se em consideração o potencial da ciência geológica, no auxílio aos gestores governamentais na espacialização e qualificação da suscetibilidade a deslizamentos nessa região.

Se for levado em conta que o problema dos deslizamentos tem ceifado muitas vidas e destruído muitas propriedades na RMR, pode-se ter uma avaliação da importância do trabalho aqui mostrado na geração de informações que servirão como subsídio aos planejadores e gestores, no ordenamento dos espaços municipais e, na definição das áreas com tal problema já instalado.

Ainda é preciso lembrar, por exemplo, que um terço da população do município do Recife vive nos morros e que em 2004 existiam, 4,2 mil áreas de risco no município (PCR, 2005). Dessa forma, o trabalho desenvolvido tem por objetivo também, auxiliar as outras prefeituras da RMR na identificação das áreas mais críticas para ocupação urbana.

Alem dos deslizamentos, a RMR enfrenta sérios problemas decorrentes de outros processos naturais e induzidos (tais como as inundações e a erosão costeira), que levaram as perdas econômicas e de vidas.

## **1.2 Objetivos**

Os objetivos desse trabalho são:

- a) Desenvolver uma metodologia que leve a produção do Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos na Região Metropolitana do Recife (na escala de 1: 100.000), utilizando-se das novas tecnologias de geoprocessamento e sensoriamento remoto, aperfeiçoando as metodologias de mapeamento da suscetibilidade aos movimentos de massa e também, propiciar uma maior facilidade no acesso as informações sobre o meio físico da Região Metropolitana do Recife. Tais informações serão disponibilizadas em ambiente SIG, permitindo um valioso auxílio no planejamento do uso do solo dessa região e contribuindo para redução do custo financeiro desses estudos.
- b) Comparar os resultados obtidos com o mapa elaborado por Alheiros (1998), que fez uso de ferramentas analógicas.

### 1.3 Sistemática de Trabalho

A sistemática de trabalho adotada seguiu as seguintes etapas:

a) Coleta de dados bibliográficos nas diversas entidades públicas e empresas privadas que atuam na área de geotécnica ou engenharia civil. Nesta etapa, foram muito importantes as informações sobre o meio físico, existentes no acervo da CPRM-Serviço Geológico do Brasil e da UFPE-Universidade Federal de Pernambuco.

b) Geração de base planimétrica atualizada, construída a partir de informações das entidades de planejamento público e estudo de imagens de satélite recentes (GEOCOVER, LANDSAT 7 e CBERS).

c) Processamento de imagens de satélite para geração e/ou atualização dos mapas básicos (geologia, geomorfologia, uso do solo, drenagem e vegetação).

d) Geração de Modelo Digital de Terreno (MDT) a partir das imagens SRTM e das curvas de nível vetorizadas das cartas topográficas (para ajuste do melhor modelo), o que propiciou o conhecimento da declividade da região com grande precisão, na escala adotada.

e) Geração de um banco de dados georreferenciados e, tratamento das informações dentro de um ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas).

f) Visitas de campo para dirimir possíveis dúvidas geradas nas fases anteriores.

g) Tratamento das informações levantadas nas etapas anteriores em ambiente SIG.

h) Geração do Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos.

## CAPITULO II - REVISÃO DO TEMA E ESTÁGIO ATUAL DO CONHECIMENTO

### 2.1 Introdução

Ao longo da história da espécie humana, o homem sempre esteve exposto aos perigos advindos dos fenômenos geológicos naturais. A posterior organização do homem em comunidades, alterou de forma significativa as condições naturais do meio ambiente gerando situações de risco que levam as perdas sociais, econômicas e ambientais, muitas vezes irreparáveis.

Ao longo das últimas décadas, o crescimento da população urbana, sem um correspondente aumento da infra-estrutura básica, de serviços e programas habitacionais eficientes, levou a ocupação desordenada do solo, com o uso de áreas geotecnicamente inadequadas (com declividade acentuada, instabilidade de taludes, características inadequadas do solo e do subsolo). Isto deixou um grande número de pessoas, geralmente as mais pobres, expostas não só aos fenômenos geológicos naturais, mas também, a fenômenos induzidos pelo próprio homem.

### 2.2 Riscos Ambientais

A partir da década de 1960, pesquisadores como Gilbert White e seus colaboradores, iniciaram pesquisas sobre os perigos naturais a que estavam sujeitas as populações do mundo.

Uma evolução natural desta pesquisa sobre perigos naturais levou ao uso do termo riscos ambientais, cujas classificações propostas por Augusto Filho (1999), muito usadas no Brasil e, a proposta pela ISDR (2004) é mostrada na Figura 1.

Varnes (1984), em trabalho realizado para UNESCO, propôs uma série de conceitos sobre risco, muito usados até hoje. Entretanto, ainda não existe um consenso sobre terminologias e conceitos, que sejam aceitos por todos os pesquisadores (Tominaga, 2004). Autores como Cerri (1993), Zuquette (1993) e Ogura (1995), por exemplo, apresentam conceitos diversos sobre o tema.

Uma controvérsia muito comum é aquela ligada às definições de risco e perigo. Lavell (in Nogueira, 2002), por exemplo, mostra que as terminologias empregadas por agências nacionais e internacionais de redução de riscos, muitas vezes não faz distinção entre risco (*risk*) e perigo (*hazard*). Cerri (1993) mostra que tais conceitos podem variar de acordo com parâmetros culturais, sociais, econômicos e da dinâmica do meio físico. É comum, no Brasil, a tradução de maneira indiscriminada do termo *Geological Hazard e Geological Risk* como *Risco Geológico*.

Essa controvérsia foi responsável pela elaboração de extensa produção cartográfica, denominada de risco, mas que, na realidade, tratava-se de trabalhos que mostravam as suscetibilidades naturais ou induzidas.

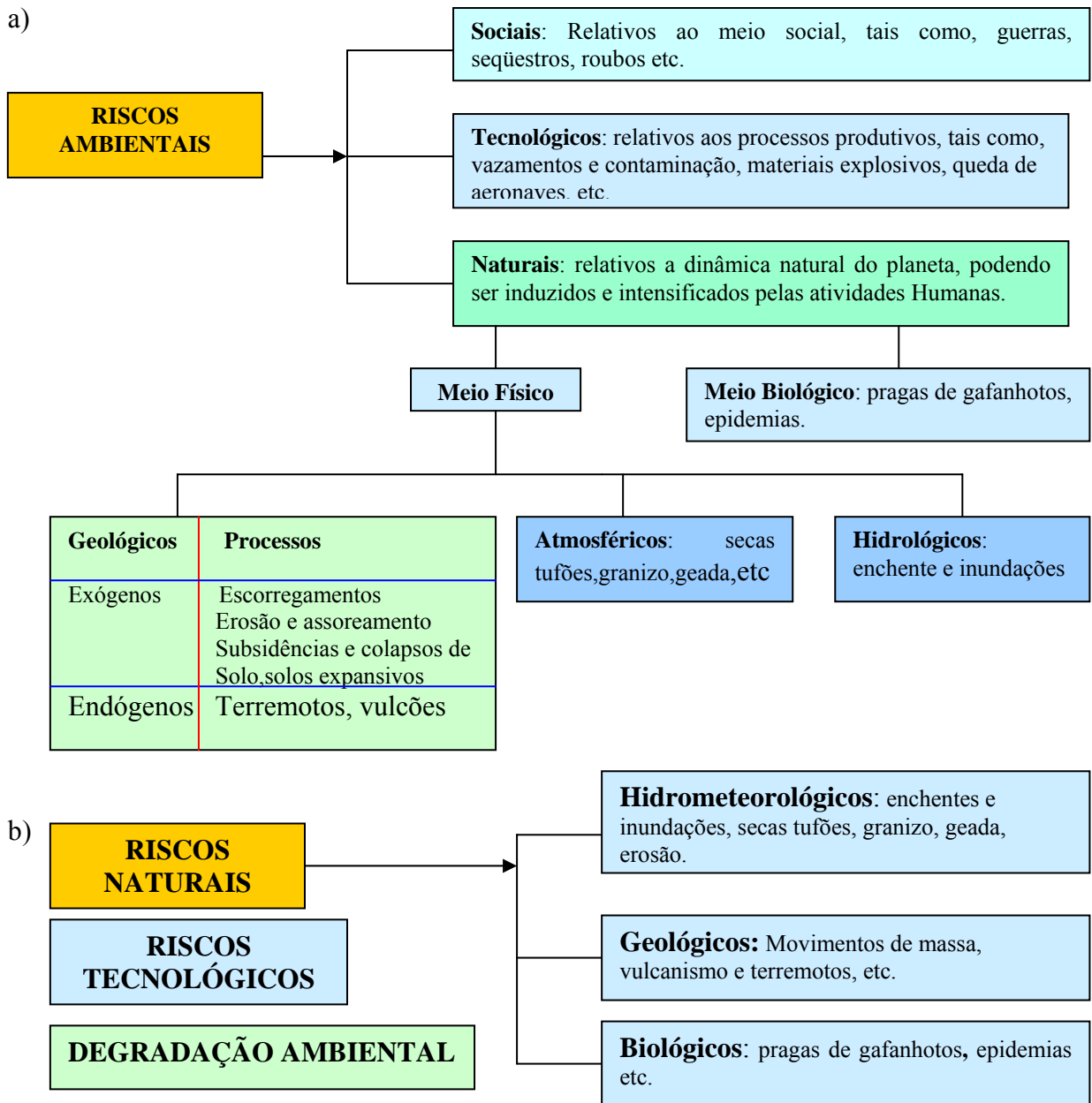


Figura 1: a) Principais tipos de risco ambientais. Adaptado de Augusto Filho (1999).

b) Principais tipos de riscos ambientais. Adaptado de ISDR (2004).

São definidas por Varnes (op. cit), as seguintes relações e parâmetros para o cálculo do risco:

$$R_t = E \times R_s$$

onde:  $R_t$ = risco total;  $E$ = Elemento de risco e,  $R_s$ = Risco Específico.

Posteriormente, Varnes et al. (1985), propôs uma equação tratando especificamente de riscos associados a deslizamentos e que é mostrada a baixo:

$$R = E \times H \times V$$

Sendo:  $E$ = elementos sob ameaça ou em risco (podem ser pessoas, edificações, etc.).

$H$ = probabilidade de ocorrência do processo=suscetibilidade ( $S$ )

$V$ = vulnerabilidade ou grau de perda dos elementos ameaçados

A equação de risco pode ser reescrita, tomando a seguinte forma:

$$R = E \times S \times V$$

A equação de risco mais genérica e utilizada pela maioria dos autores, sendo também adotada neste trabalho, é representada por:

$$R = P \times C$$

$R$ = risco

$P$ = probabilidade de ocorrência do processo=suscetibilidade

$C$ = conseqüências sociais e econômicas potenciais associadas=vulnerabilidade

Existem várias outras representações matemáticas dos componentes de risco, apresentadas por pesquisadores de várias nacionalidades e que podem ser consultadas em Nogueira (2004).

Um marco na pesquisa e conhecimento dos riscos geológicos foi a instituição pela Organização das Nações Unidas - ONU, da década de 90 como a Década Internacional de Redução de Desastres Naturais-DIRDN.

A DIRDN foi instituída a partir da Resolução 44/236 da Assembléia Geral das Nações Unidas e, teve início em 1<sup>o</sup> de janeiro de 1990. Como resultados dessa iniciativa, foram

criados vários programas de cooperação internacional, com a participação de 72 países. O Brasil engajou-se de forma discreta na DIRDN, sem maiores interesses na criação de uma estrutura que permitisse sua participação efetiva nessa iniciativa.

Em 2001 a International Federation of the Red Cross and Red Crescent Societies, informou que 42% dos desastres naturais, com perdas econômicas e de vidas, devem-se as inundações e deslizamentos. Ainda segundo esta entidade, no período de 1964-1999 houve um acréscimo no número de desastres causados pelos deslizamentos em todo mundo.

Com o objetivo de organizar e oferecer uma sólida infra-estrutura técnica, utilizando-se do novo conceito de ferramentas baseadas numa estrutura de banco de dados /SIG na pesquisa dos desastres naturais, foi criada em meados da década de 2000 a hazNET (Research Network on Natural Hazards at ETH Zurich), composta por especialistas em várias ciências.

A proposta deste grupo de pesquisa é gerar projetos trans disciplinares com foco sobre os processos de análise, avaliação de perigo, da vulnerabilidade, ecologia, economia e sistemas políticos, medidas para prevenção, análise e mitigação de riscos e contribuições para o desenvolvimento de métodos e ferramentas para integração do gerenciamento de risco com o desenvolvimento sustentável (Metternich, 2005).

Em 2005, a International Strategy for Disaster Reduction (ISDR), criada pela ONU para dar continuidade aos propósitos da DIRDN, publicou ampla pesquisa abrangendo os anos de 1900 a 2003, mostrando dados sobre os danos sociais e econômicos causados pelos desastres naturais. Dessa forma, são mostradas abaixo, algumas conclusões obtidas por esse estudo.

Assim, a figura 2 mostra as cinco categorias dos desastres naturais ocorridos durante todo o século XX e os dois primeiros anos do século XXI, subdivididos em três grupos:

Desastres hidrometeorológicos (inundações, tempestades, secas, temperaturas extremas, deslizamentos e avalanches), Desastres geológico-geofísicos (terremotos, tsunamis e erupções vulcânicas) e Desastres biológicos (epidemias e pragas de insetos).

Essa subdivisão é bastante semelhante à mostrada por Augusto Filho (1999) diferenciando-se, principalmente, pelo uso do termo desastre natural em substituição a risco ambiental.

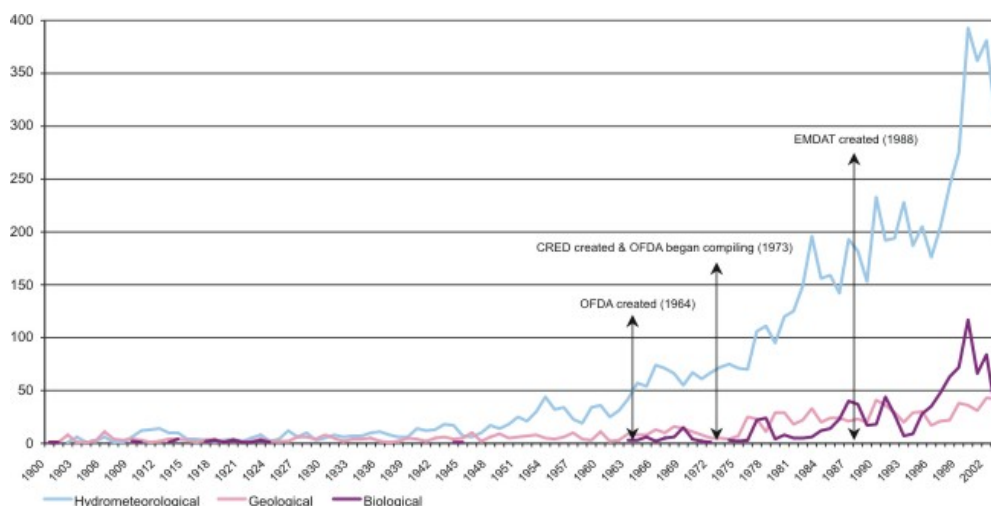


Figura 2: Número de desastres naturais registrados no período de 1900 a 2003.  
 Fonte: OFDA/CRED International Disasters Database (EM-DAT) in ISRDN (2004).

A diferenciação dos termos acidente, desastre e catástrofe, numa escala crescente baseiam-se na proporção da destruição causada e na quantidade de recursos, tanto humanos como financeiros, necessários à mitigação dos problemas gerados (Dias,2002).

Na Figura 3 podem ser vistos os números de pessoas afetadas e na Figura 4 o de pessoas vitimadas pelos desastres naturais no mundo entre 1994 e 2003.

| Região   | hidrometeorológico | geológico | biológico | tecnológico |
|----------|--------------------|-----------|-----------|-------------|
| África   | 17888              | 60        | 1227      | 10          |
| Américas | 5453               | 491       | 91        | 74          |
| Ásia     | 64043              | 948       | 33        | 11          |
| Europa   | 2850               | 58        | 26        | 12          |
| Oceania  | 34380              | 704       | 27        | 41          |

Figura 3: Número (em milhões) de pessoas afetadas por desastres naturais em cada continente.

Fonte: EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database. <http://www.em-dat.net>, UCL - Brussels, Belgium. In ISRDN (2004)

No que se refere aos desastres naturais que atingiram o Brasil, a ISDR (2004), contabilizou um total de 4949 mortes entre 1948 e 2004, sendo que 58.357.034 pessoas foram afetadas por esses desastres (como mostrado na figura 5). Já o Instituto de Pesquisas Tecnológicas-IPT (2005), contabilizou um total de 1572 mortes por deslizamentos no Brasil,

no período de 1988 a 2005. O que representa um número aproximado, já que algumas ocorrências conhecidas na RMR, não constam do mesmo.

| Região   | hidrometeorológico | geológico | biológico | tecnológico |
|----------|--------------------|-----------|-----------|-------------|
| África   | 1.661              | 0.354     | 7.436     | 3.654       |
| Américas | 7.613              | 0.410     | 0.103     | 1.318       |
| Ásia     | 2.696              | 2.412     | 0.322     | 1.275       |
| Europa   | 5.904              | 0.310     | 0.054     | 1.097       |
| Oceania  | 1.694              | 7.337     | 0.937     | 2.056       |

Figura 4: Número (em milhões) de pessoas vitimadas por desastres naturais em cada continente.

Fonte: EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database. <http://www.em-dat.net>, UCL - Brussels, Belgium. In ISRDN (2004).

Dessa forma, no que se refere aos números de vítimas e pessoas atingidas por desastres naturais no Brasil, é difícil tanto para os organismos internacionais como para as instituições nacionais apresentarem números precisos.

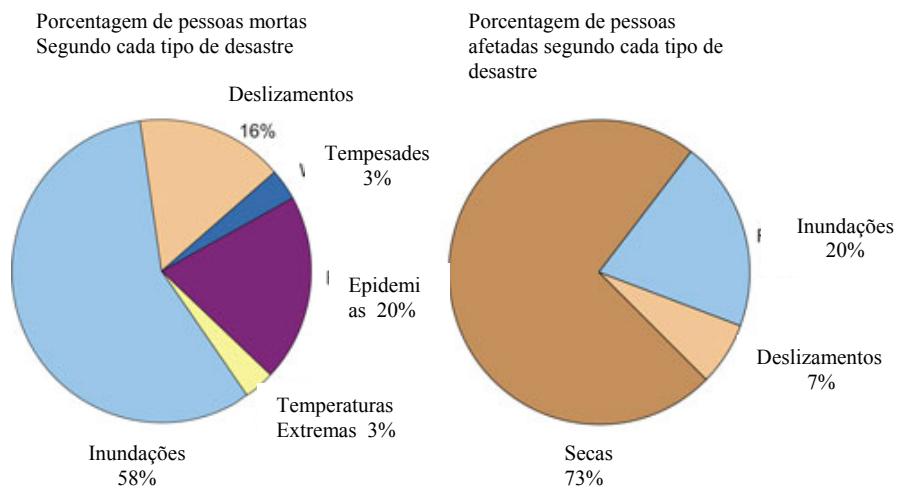


Figura 5: Porcentagem de pessoas mortas e atingidas por desastres naturais no Brasil entre 1948 e 2004 (de acordo com o tipo de desastre natural).

Fonte: EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database, <http://www.em-dat.net> - Université catholique de Louvain - Brussels - Belgium



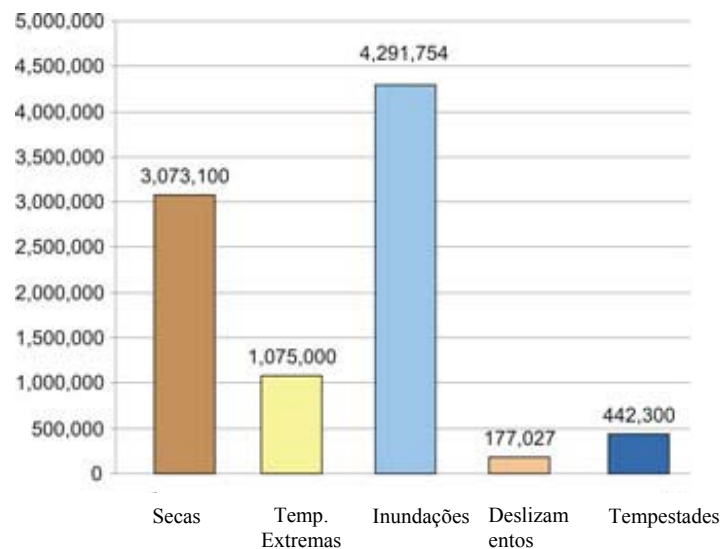


Figura 6: Valor das perdas econômicas (US\$ x 1000) no Brasil devido a desastres naturais entre os anos de 1948 e 2004.

Fonte: EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database, <http://www.em-dat.net/> - Université catholique de Louvain - Brussels - Belgium

Mesmo que, não estejam disponíveis dados oficiais precisos que proporcionem uma análise mais acurada dos números e conseqüências dos desastres naturais no Brasil, é suficiente uma breve pesquisa dos dados mostrados na imprensa para notar o grande número de vítimas e prejuízos causados pelos deslizamentos e pelas inundações.

### 2.3 Análise de Risco

Perigo e risco são termos intrinsecamente relacionados, cujo conhecimento, independente de divergências conceituais, é fundamental para prevenção e redução de desastres naturais. A percepção de situações onde as populações estejam expostas a algum risco ambiental, levará ao estudo desses riscos e suas conseqüências para as pessoas, no que se denomina análise de risco.

Uma “definição mais completa de análise de risco é apresentada por Alheiros (1998) com a seguinte redação:”... *“Constitui o esforço técnico para a caracterização e dimensionamento do problema, identificando a natureza do perigo, sua probabilidade de ocorrência e as perdas associadas.”*

Inicialmente, a análise de risco tinha como alvo os estudos para solucionar problemas que atingissem as áreas produtivas ou sob risco tecnológico, tendo evoluído posteriormente para as questões que se voltavam para ocupação dos espaços urbanos.

O conhecimento do risco é o primeiro passo para a orientação dos governos nas suas ações de gerenciamento das suas causas e efeitos (gestão do risco). Dessa forma a gestão do

risco compreende um conjunto de ações que incluem segundo a United Nations Disaster Relief Coordinator-UNDRO (1991), cinco ações fundamentais: identificação dos riscos, análise dos riscos, planejamento para situações de emergência, informações públicas e treinamento.

De acordo com Augusto Filho (1999), a mitigação dos problemas causados por acidentes naturais pode ser feita de acordo com as seguintes ações:

- a) Restrições da ocupação das áreas sujeitas a algum tipo de risco;
- b) Legislação adequada;
- c) Execução de medidas estruturais e;
- d) Desenvolvimento de sistemas de alerta

Para Alheiros (1998), a gestão dos riscos é dividida em seis estágios principais que são: A análise do risco, avaliação das opções (tipo de ação, relocação etc.), escolha da solução técnica e projeto, discussão da solução encontrada com a comunidade, implementação da opção escolhida e, monitoramento da área após a implementação da solução escolhida.

A ISDR publicou em 2004 “Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives”, onde apresenta 5 premissas básicas para o controle e a redução de desastres naturais, são elas:

- Avaliação de risco incluindo a análise da suscetibilidade e da vulnerabilidade;
- Conhecimento do problema incluindo educação, treinamento, pesquisa e informação;
- Ações públicas incluindo ações institucionais, políticas, legislativas e comunitárias;
- Aplicação de medidas incluindo manejo ambiental, uso do solo e planejamento urbano, uso da ciência e tecnologia, parcerias entre instituições e instrumentos financeiros;
- Sistema de previsão e advertência, medidas preventivas e de capacidade de reação.

Augusto Filho (1998) utilizou os termos risco atual e risco potencial. O risco atual pode ser definido como o risco instalado em áreas já ocupadas e mostra locais que devem ser alvo de medidas estruturais e não estruturais, objetivando a redução desse risco. O risco potencial definido pelo autor caracteriza de fato a suscetibilidade para a criação de novas situações de risco, em áreas que ainda não se encontram ocupadas. Da análise desse potencial é possível planejar o futuro uso do solo nessas áreas.

## 2.4 Cartografia de Riscos no Brasil

No Brasil os primeiros trabalhos sobre cartografia de risco geológico datam do final da década de 1980, com trabalhos de autores como Prandini e Sobreira. Na década seguinte, houve um aumento dos trabalhos, incentivados também, pelo aumento do número de encontros técnicos sobre esse tema no Brasil.

Dessa fase da cartografia de risco no Brasil podemos citar, Cerri (1993), Carvalho (1997) e Amaral (1999) com vários trabalhos de estudos para a região sudeste do Brasil. No nordeste Gusmão Filho e Alheiros destacam-se por seus vários trabalhos na Região Metropolitana do Recife.

Deve-se citar ainda que, o Ministério das Cidades desenvolve, no momento, uma metodologia adaptada às condições brasileiras e que possa ser usada em qualquer lugar do país com pequenas adaptações às condições locais (MC, 2004).

## 2.5 Suscetibilidade Natural e Suscetibilidade Induzida

São definidos dois tipos de suscetibilidades aos deslizamentos: a natural e a induzida. A suscetibilidade natural (que é um dos focos principais deste trabalho) deve ser avaliada com base nas propriedades geológicas e pedológicas, nas características geomorfológicas de declividade, altura, extensão e perfil das encostas, morfometria e distribuição espacial da drenagem nas micro-bacias. Além disso, fatores climáticos como a pluviosidade e biológicos, como a cobertura vegetal (com seus tipos e espécies diversas, densidade e grau de cobertura do terreno), fazem parte dessa avaliação.

A suscetibilidade, de acordo com Sobreira (1998) e Alheiros (2004), é definida como a possibilidade de ocorrência de um processo geológico (evento destrutivo).

Dias (2002), utiliza os termos perigo natural e suscetibilidade como sinônimos, adotando a mesma definição do American Geological Institute-AGI, ou seja: “... *é a probabilidade de ocorrência de fenômeno potencialmente prejudicial em um determinado período de tempo e numa dada área.*”.

Tominaga (1998) avalia a suscetibilidade natural com base nas características do substrato geológico, na geomorfologia nos condicionantes climáticos e na cobertura vegetal. Na avaliação da suscetibilidade induzida à referida autora utiliza a classificação das unidades e elementos contidos no mapa de uso e ocupação do solo. Já Dias (op. cit), utilizou na análise da suscetibilidade natural a deslizamentos, a declividade, os tipos de modelados do relevo, o uso do solo e a pedologia.

A suscetibilidade é também apresentada por MOPT (1992), como sendo a potencialidade de um evento para causar transformações no meio físico, não sendo levadas em conta suas conseqüências para as atividades humanas.

É fundamental uma perfeita distinção entre a suscetibilidade natural cujo estudo apresenta um caráter eminentemente preventivo e, serve como ferramenta para planejamento da ocupação de áreas ainda livres, da suscetibilidade induzida. Esta última representa, basicamente, a probabilidade de ocorrência de processos geológicos, conforme o uso antrópico e respectivas funções sócio-econômicas dadas a uma determinada área já ocupada ou, com uso pré-definido.

A representação espacial da suscetibilidade se dá a partir das cartas de suscetibilidade, que representam a possibilidade de ocorrência de um ou mais fenômenos geológicos (como os deslizamentos, por exemplo) ou, situações onde o uso do solo predispõe o meio físico a esses fenômenos (carta de deslizamentos espontâneos ou induzidos). Nessas cartas, a suscetibilidade (natural ou a induzida), é expressa na forma de classes de possibilidade de ocorrência do fenômeno que se quer representar, Bitar (1992).

*Para Lopes (2000)*, o mapa (ou carta) de suscetibilidade, é definido como um mapa geológico geomorfológico, onde estão representadas as características do meio ambiente físico, de relevante importância para o planejamento do uso e ocupação do solo.

A carta de suscetibilidade é, na verdade, um tipo de carta geotécnica que, a partir da análise interpretativa de dados geológico-geotécnicos, destina-se a utilização prática para os trabalhos de uso e ocupação do solo (gestão territorial).

Os fatores que influenciam na suscetibilidade podem ser divididos em: Fatores Endógenos e Fatores Exógenos (conforme mostrado na tabela 2).

Outros fatores devem ser citados também, como agentes indutores dos movimentos de massa, tais como: pluviosidade, sismos naturais ou induzidos e oscilações (naturais ou induzidas) do lençol freático.

As características do meio físico é que vão definir o grau de suscetibilidade de uma área ou região, a ocorrência de desastres geológicos que podem afetar de forma negativa a vida e as propriedades dos habitantes de uma área ou região.

Nos estudos voltados para suscetibilidade, perigos e riscos geológicos, de deslizamentos, normalmente, são assumidas 4 prerrogativas principais (Varnes, 1984):

- a) Os deslizamentos irão ocorrer dentro das mesmas condições geológicas, geomorfológicas, hidrogeológicas e climáticas do passado.

Tabela 1: Fatores Endógenos e Exógenos determinantes para a suscetibilidade a deslizamentos de encostas

| <b>FATORES ENDÓGENOS</b> | <b>ATRIBUTOS</b>  |
|--------------------------|---|
| Geológicos               | Litologias e estruturas   |
| Geomorfológicos          | Declividade, Extensão das encostas, Altura das encostas, Perfil das encostas, Morfologia das encostas e Drenagem. |
| Tipo de solo             | Granulometria, Mineralogia e Unidade Pedológica.  |
| <b>FATORES EXÓGENOS</b>  | <b>ATRIBUTOS</b>  |
| Vegetação                | Tipo de vegetação e área vegetada   |

b) As principais condições causadoras dos deslizamentos são controladas por fatores físicos, identificáveis.

c) O grau de perigo pode ser avaliado

d) Todos os tipos de ruptura de taludes podem ser identificados e classificados.

Para uma avaliação mais precisa da suscetibilidade aos deslizamentos é necessário responder ainda, as seguintes questões:

a) Onde os deslizamentos irão ocorrer?

b) Qual o tipo de ruptura dos taludes?

c) Sob que condições os deslizamentos ocorrerão?

Dessa forma, para a análise da suscetibilidade, são utilizadas técnicas voltadas para prevenção que procuram não só, definir os eventos que representam perigo, mas também, suas condições de ocorrência, localização e tempo.

Como um dos fatores indutores e causadores de vários deslizamentos, a muito é citada a relação chuva/deslizamentos (gráfico 1), com base em dados estatísticos de intensidade e duração desse fenômeno climático. Entretanto, a probabilidade do conhecimento do real perigo de deslizamento, esta cercada de várias incertezas quanto ao comportamento de parâmetros geológico-geotécnicos e ambientais que variam de uma área para outra.

Quanto à escala de trabalho para desenvolvimento das pesquisas sobre o tema, *Aleotti et al* (1999), sugere que sua escolha leve em conta:

a) Que escalas entre 1:100.000 e 1:500.000, deveriam ser utilizadas quando o objetivo for o planejamento regional. Escalas entre 1:25.000 e 1:50.000, são mais adequadas quando o objetivo for à implantação de grandes obras de engenharia ;

b) escalas maiores quando o objetivo for o estudo de problemas localizados;

c) a disponibilidade de dados.

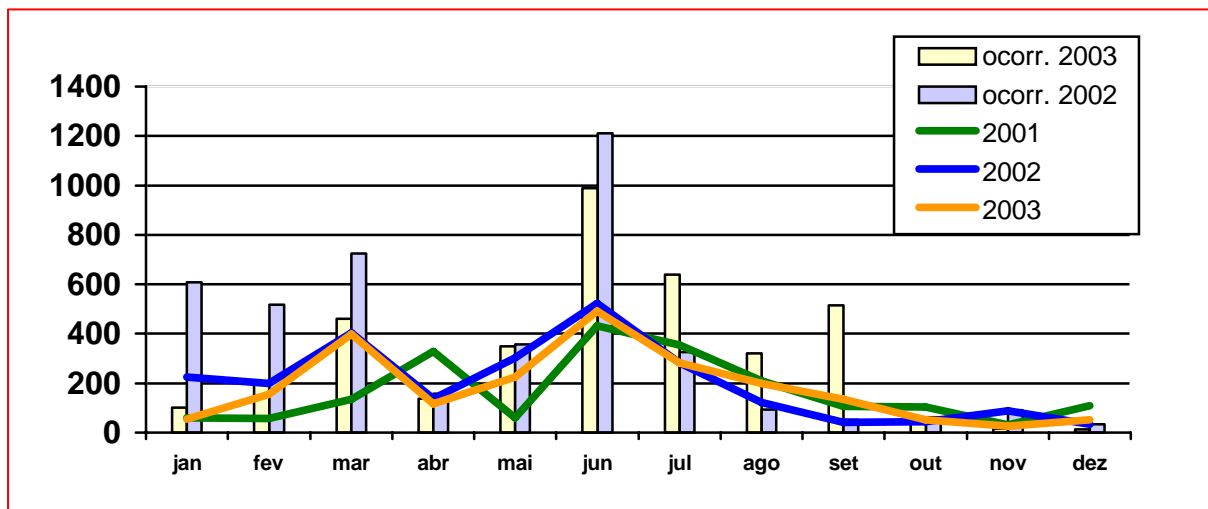


Gráfico 1: Correlação entre ocorrências de deslizamentos em 2002 e 2003 na cidade de Recife e os índices pluviométricos (em milímetros para os anos de 2001 a 2003), onde se percebe a coincidência entre a maioria dos deslizamentos e o mês de maior pluviosidade (junho). Fonte: Alheiros 2004.

**2.6 Classificação dos métodos de estudo** As análises de risco, perigo e suscetibilidade podem ser distinguidas pela utilização de métodos qualitativos e quantitativos, Carrara (1988). Em função do método adotado, podem ser definidos quais os elementos que serão tratados e qual o modelo a ser seguido, como mostrado na figura 7.

Um ponto importante dessa classificação sugerida pelo referido autor é que, sempre tais métodos são relacionados ao estudo da Suscetibilidade e do perigo (hazard).

No primeiro caso, no método geomorfológico, o estudo é baseado principalmente na experiência dos técnicos, combinado a mapas geomorfológicos, enriquecidos com dados referentes a diversos parâmetros de importância para estabilidade de taludes, e experiência de campo.

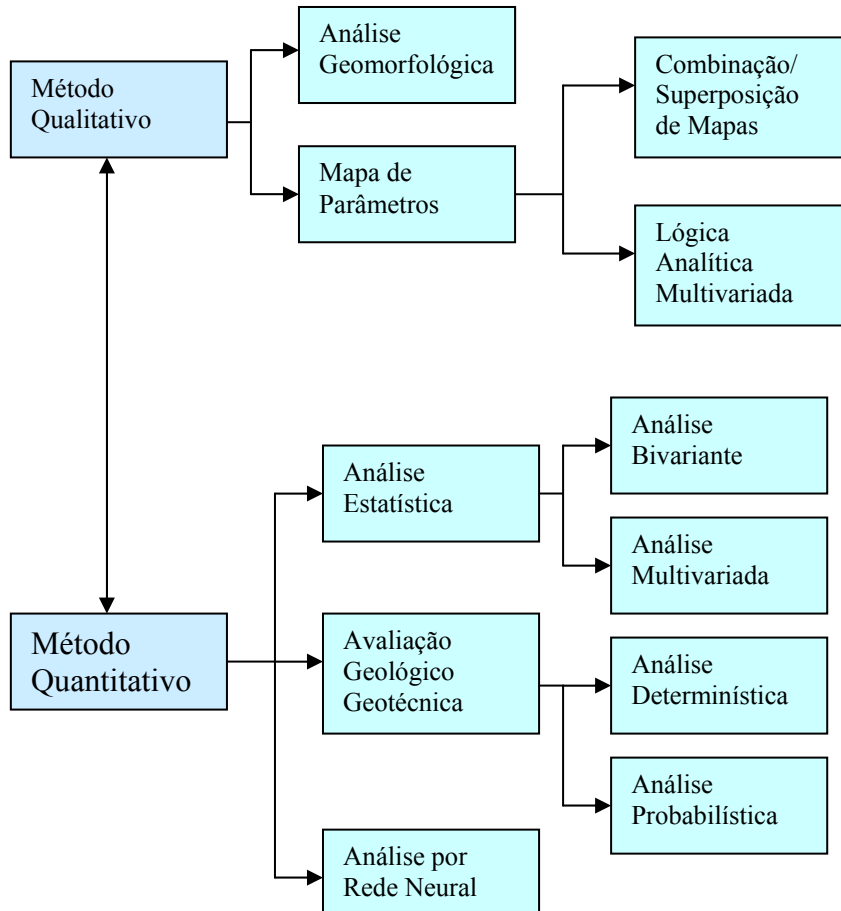


Figura 7: Proposta de métodos de avaliação de Suscetibilidade, segundo Aleotti (1999).

Esse tipo de metodologia foi aplicado com muita frequência nas décadas de 70 e 80 do século XX e, tem como bom exemplo a metodologia ZERMOS, desenvolvida na França.

Outro método qualitativo adotado é o da seleção de mapas de vários fatores que influenciam na suscetibilidade a deslizamentos e, atribuir pesos a cada um deles, de acordo com a experiência do pesquisador em outras áreas similares e visitas a campo, proporcionais a sua importância na movimentação de massas. Um bom exemplo desse método é o trabalho desenvolvido por Amadesi & Vianello (1978) e mostrado no diagrama de blocos abaixo.

Os métodos quantitativos são baseados em análises estatísticas e métodos determinísticos que envolvem modelos de geologia de engenharia de locais ou taludes específicos. Além disso, são inseridos os conceitos de risco aceitável e risco controlável.

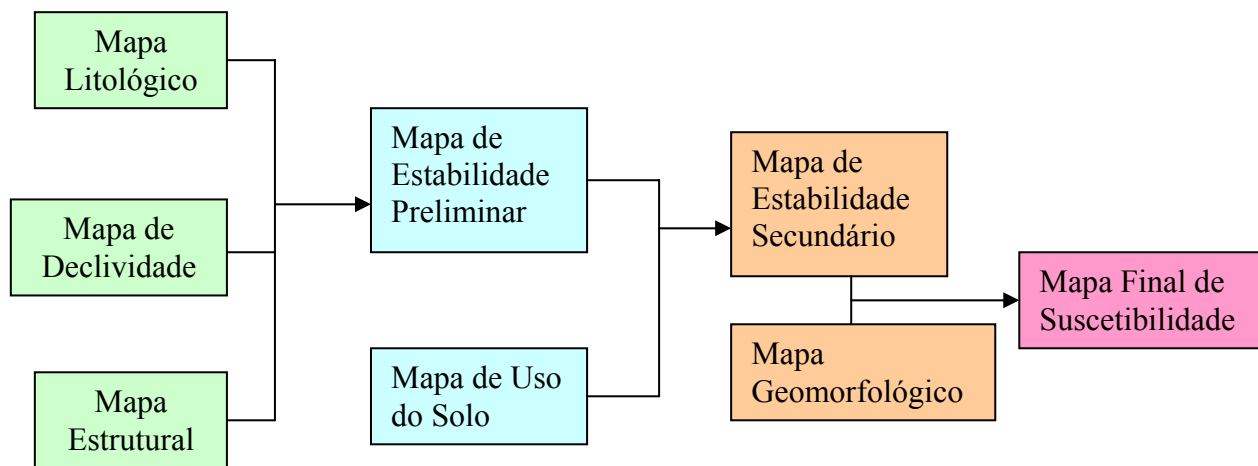


Figura 8: Fluxograma do trabalho desenvolvido por Amadesi & Vianello (in Aleotti, 1999).

Esses métodos estatísticos comparam a distribuição espacial de deslizamentos em uma determinada área, com os vários parâmetros correlacionáveis e, cujos resultados possam ser utilizados em outras áreas onde esses deslizamentos ainda não tenham sido registrados, mas, que os condicionantes da suscetibilidade estejam presentes, *Aleotti* (1999).

Como uma das principais vantagens desse método cita-se o fato de que, a avaliação da importância de cada um dos parâmetros em estudo, pode ser validada antes de ser gerado o mapa definitivo. O rápido desenvolvimento de softwares voltados para geração de SIGs, muito tem facilitado a adoção desse método.

Os métodos estatísticos podem ser subdivididos em métodos de análise estatística bi variada e multivariada.

Todavia, persistem nestes métodos estatísticos, alguns problemas tais como: a calibração do peso ideal de cada fator dentro do mapa final.

No caso da análise estatística bi variante, o peso de cada fator interveniente nos deslizamentos de uma área é determinado, com base na densidade de deslizamentos dessa área onde a participação desse fator é mais ou menos presente. Neste método, vários parâmetros podem ser usados tais como: litologia, ângulo do talude e altura do talude, entre outros.

Os modelos gerados a partir da análise estatística bi variante são baseados em séries de curvas empíricas que correlacionam dois ou mais parâmetros tais como: ângulo de ruptura de taludes e declividades, por exemplo, (*Aleotti*, 1999).

A análise estatística multivariada é aplicada com sucesso há algum tempo em várias áreas da geologia como é o caso da geologia do petróleo. Entretanto, seu uso no estudo dos



deslizamentos é mais recente, sendo os primeiros trabalhos utilizando esta técnica datada da década de 1980.

O desenvolvimento dessa técnica exige alguns passos iniciais antes da aplicação dos cálculos de análise estatística multivariada propriamente ditos:

- 1) Classificação de parte da área dos estudos (área de teste) em unidades de terreno;
- 2) Identificação dos fatores mais significativos na ocorrência dos deslizamentos;
- 3) Construção dos mapas de parâmetros e de localização dos deslizamentos;
- 4) Identificação da porcentagem de áreas afetadas por deslizamentos em todas as unidades de terreno descritas e sua classificação como estáveis ou não estáveis;
- 5) Combinação dos mapas de parâmetros com os mapas de unidades de terreno e a criação de uma matriz binária (com deslizamento X sem deslizamento) de cada parâmetro dentro de cada unidade de terreno.

Por fim, uma reclassificação das unidades de terreno obtidas a partir dos cálculos de análise estatística multivariada dos dados anteriormente obtidos, se procede para transformação em classes de suscetibilidade.

A aplicação da análise estatística multivariada apresenta atualmente, grande difusão com o uso de softwares específicos que aplicam na resolução dos problemas, que utilizam ferramentas de análise discriminante e análise regressiva múltipla.

A avaliação através de modelo geológico geotécnicos envolve o estudo de engenharia de taludes nos locais propensos a deslizamentos, tendo como base o estudo das propriedades físicas dos materiais, que permitirão a utilização de procedimentos matemáticos específicos como para o cálculo do fator de segurança da encosta. Este método é muito utilizado pela engenharia de solo para estudo da estabilidade e para estudos geotécnicos aplicados em áreas propensas aos deslizamentos. Atualmente este método tem se expandido muito, principalmente devido ao aparecimento de softwares direcionados para SIG.

Uma característica muito importante deste método é que seu uso esta voltado somente para o estudo de pequenas áreas e em escala de detalhe. O mapa de suscetibilidade gerado poderá ter características determinísticas ou probabilísticas, de acordo com os modelos matemáticos e estatísticos utilizados.

O método das redes neurais representa um sistema computacional adaptativo que pode “aprender”, ou adquirir conhecimento, a partir dos dados, mediante técnicas de inteligência artificial. De acordo com Souza Filho (2003), as redes neurais apresentam propriedades que torna esse método muito adequado ao reconhecimento de padrões de classificações de dados espaciais. Assim, destacam-se: a possibilidade de definir padrões não perceptíveis com as

técnicas estatísticas tradicionais; possibilidade de trabalhar com dados sem a necessidade de um modelo preexistente; possibilidade de trabalhar com dados limitados, interdependentes ou não lineares, adição contínua de novos dados e, facilidade para análise de grande quantidade de dados.

### 2.6.1 Metodologias mais utilizadas

São várias as metodologias para geração de mapas de suscetibilidade desenvolvidas em países europeus, norte americano e na Austrália. Muitas dessas metodologias necessitam de adaptações para seu uso em ambientes tropicais (*Lopes et al, 2000*).

Dentre essas metodologias destacam-se as de Sanejoand, a da International Association of Engeniering Geology-IAEG e a PUCE.

No Brasil, vários pesquisadores desenvolveram metodologias para o mapeamento da suscetibilidade. Entre eles podem ser citados Heine (1966), Seigmartin e Fúlfaro (1981), Zuquette (1981), Carvalho (1982), Pejon (1987), Ferrante (1990), Vedovello & Mattos (1998), Prandini (1991), gerando produtos com características de mapas geotécnicos e, Augusto Filho (1994), EESC/USP e Alheiros (1998). Dentro dessas metodologias, a de Alheiros (1998), utilizada como base para este trabalho, destaca-se para áreas situadas no nordeste do Brasil . Já, o primeiro mapa objetivando a suscetibilidade a deslizamentos da América do Sul, foi elaborado para cidade do Rio de Janeiro, na escala de 1:25000, no ano de 1991 (Fernandes in: Guerra, 1996).No estudo da suscetibilidade é possível delimitar dois momentos importantes. No primeiro, encontramos metodologias desenvolvidas e aplicadas sem o uso de ferramentas de informática e sensoriamento remoto e, onde a fotografia aérea era o único instrumento que possibilitava uma visão tridimensional e de conjunto da área estudada.

No segundo momento, caracterizado principalmente a partir de meados da década de 1980, encontramos novas metodologias que utilizam os recursos da informática e do sensoriamento remoto. Muitas delas, entretanto, são apenas adaptações das já existentes, utilizando-se das novas ferramentas de informática e sensoriamento remoto.

Os primeiros registros do uso do geoprocessamento para elaboração de mapas de suscetibilidade datam de 1973, Bertagnan e Riedel (1998). Entretanto, somente a partir de meados da década de 1980, com o aparecimento de computadores mais possantes e com a popularização do uso dos computadores tipo PC (*Personal Computer*) é que houve uma maior aplicação da informática na construção desses mapas.

A utilização dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e, o sensoriamento remoto orbital, representado pelas imagens de satélite e de radar, aumentou a capacidade de

síntese e também a capacidade de tratamento de grandes volumes de informações bem como, possibilitaram o estudo multitemporal de amplas áreas a um custo mais baixo e em menor tempo.

Atualmente, nota-se a forte tendência à adoção e ao desenvolvimento de técnicas quantitativas, tendo em vista que, o avanço das técnicas de SIG e a informática, mostram que, as técnicas qualitativas tradicionais, já chegaram ao seu ponto máximo de desenvolvimento, tornando-se necessária a busca de novas técnicas metodológicas apoiadas em ferramentas modernas, Sobreira (2004). Na tabela 3 são apresentadas às características das principais metodologias utilizadas no estudo da Suscetibilidade.

De acordo com Fernandes (in: Guerra, 1996), a maior parte dos métodos utilizados no estudo da suscetibilidade, envolve a combinação e integração de um conjunto de mapas temáticos. Diante desta situação, um levantamento realizado por este autor mostrou que os produtos gerados a partir de nove metodologias diferentes, apresentavam resultados muito semelhantes.

Tabela 2: Metodologias de mapeamento (Modificada de Lopes et al, 2000).

| Metodologia               | Características do meio físico abordado                            | Escalas 10 <sup>3</sup>                      | Cartas   | Finalidade   |
|---------------------------|--|--|--|--|
| SANEJOAUND (1972)         | Rochas<br>Materiais de cobertura<br>Geomorfologia<br>Hidrogeologia | < 100<br>100 – 50<br>25 – 10<br>5 – 1<br>> 1 | Dados<br>Fatores<br>Sintética  | Gerais (planejamento territorial e urbano),<br>Específicos.      |
| MATHEWSON & FONT (1973)   | Rochas<br>Solos<br>Geomorfologia<br>Topografia                     |  | 1 <sup>a</sup> Ordem (observação)<br>2 <sup>a</sup> Ordem (engenharia)<br>3 <sup>a</sup> Ordem (Interpretativo)<br>4 <sup>a</sup> Ordem (Planejamento) | Aduabilidades (planejamento e Interpretativa)                    |
| IAEG ((1976)).            | Rochas<br>Solos<br>Geomorfologia<br>Hidrogeologia                  | < 200<br>10 – 20<br>5 – 10<br>> 5            | Geral e<br>Específica  | Uso Geral (multiespecífico)<br>Especial (Uso específico)         |
| PUCE, (in GRANT, 1975)    | Rochas<br>Solos<br>Geomorfologia<br>Topografia (declividade)       | > 250<br>>250 – 100<br>>25<br>>2,5           | Geral e<br>Específico  | Zoneamento (classes taxonômicas)                                 |
| ZERMOS (1977)             | Rochas<br>Estruturas<br>Drenagem<br>Vegetação<br>Sobrecarga        | 25<br>20<br>05                               | Específica   | Movimentos de massa, erosão.<br>Abatimento<br>Problemas sísmicos |
| ZUQUETTE (1987)           | Geologia, Solos<br>Topografia,<br>Declividade<br>Hidrogeologia     | < 100<br>100 – 25<br>25 – 10                 | Básica,<br>Fundamental,<br>Opcional,<br>Auxiliar<br>Derivada   | Cond. geotécnicas.<br>Zoneamento geotécnico e específico         |
| EESC/USP(1987/93)         | Topografia, Rochas e Drenagem.                                     | > = 100                                      | Básicas e<br>específicas   | Condições geotécnicas  |
| Alheiros (1998)           | Geologia, Solos, relevo.<br>Declividade                            | > = 100                                      | Básicas e<br>específicas   | Suscetibilidade a deslizamentos                                  |
| Prandini (IPT)            | Topografia, Rochas e Drenagem.                                     | >=100  | Específica   | Movimentos de massa, condições geotécnicas.                      |
| Shalstab(Guimarães, 1998) | Relevo e Hidrologia  | > = 10                                       | Suscetibilidade a deslizamentos  | Suscetibilidade a deslizamentos                                  |

### 2.6.2 O Modelo Shalstab

Este método aplica um modelo matemático baseado em dados físicos, sendo voltado para a previsão de áreas de risco de deslizamentos rasos, tipo de escorregamento característico na área dos morros da RMR. O modelo Shalstab realiza uma combinação entre um modelo hidrológico e um modelo de estabilidade de encostas em conjunto com um MDT, na busca da determinação da razão entre a quantidade de chuva e a transmissividade do solo necessária para gerar um escorregamento (Guimarães et al, 1998). O esquema de desenvolvimento do modelo Shalstab pode ser visto na figura 8, extraído do trabalho de Guimarães et al (1998).

A implementação o modelo Shalstab pode ser definido como um algoritmo desenvolvido em linguagem AML (*Arcinfo Macro Language*), que roda em ambiente Arcview e, a partir de um MDT, combinado a um modelo hidrológico e um modelo de estabilidade de encosta. Ele procura definir o potencial de risco a deslizamentos rasos (na verdade a suscetibilidade, para o limite de até dois metros de espessura do solo), para cada célula em que se subdivide uma bacia hidrográfica. Este algoritmo, na forma de uma extensão do software Arcview 3.x, pode ser obtido, gratuitamente, a partir do seguinte endereço na Internet: <http://socrates.berkeley.edu/~geomorph/shalstab/>.

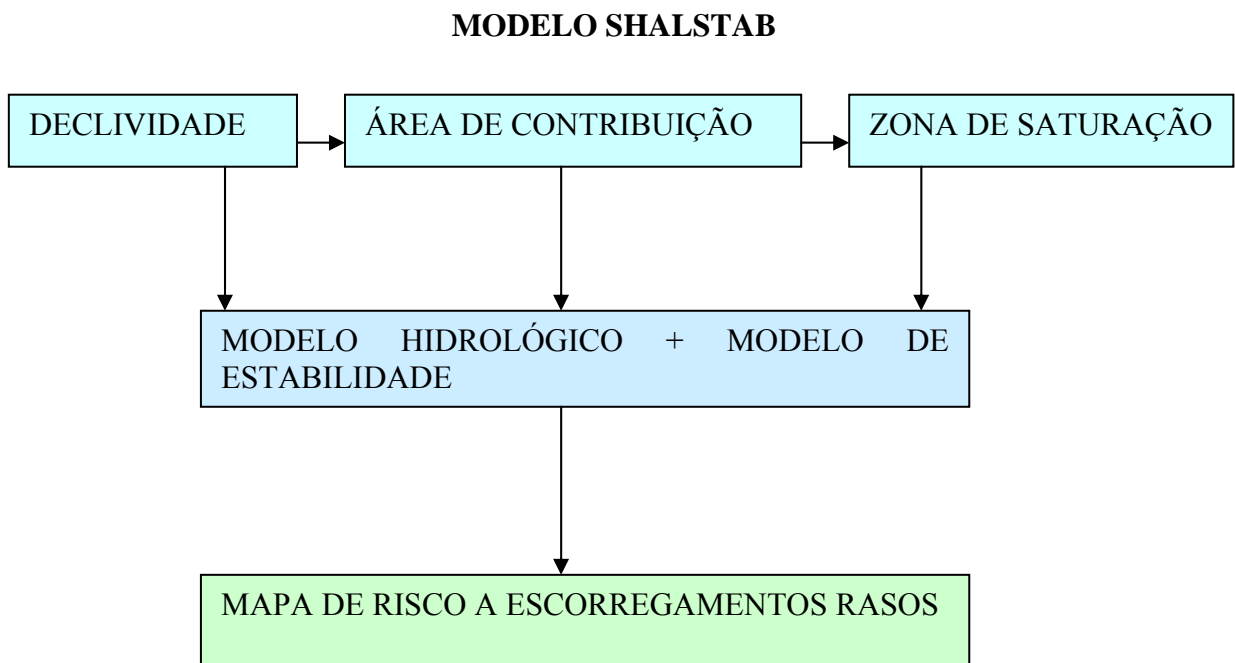


Figura 9: Fluxograma de desenvolvimento do Modelo Shalstab. Fonte: Guimarães et al (1998).

A utilização desta metodologia exige, entretanto modelos digitais de terreno elaborados em escalas variando de, no mínimo, 1:50.000 até escalas próximas a 1:10.000, conforme mostrado no trabalho de Gomes (2005). Assim, a aplicação dessa metodologia na RMR exigiria a elaboração de modelos digitais de terreno com dados não disponíveis para a região até o momento. A experiência realizada com os dados disponíveis para RMR (SRTM e MDT com as curvas topográficas das cartas da SUDENE), gerou resultados totalmente insatisfatórios.

## 2.7 Correlação entre chuvas e deslizamentos

É conhecido o efeito potencializador das chuvas nos processos de deslizamentos. Desde a segunda metade do século XX, vários autores têm estudado a relação chuva x deslizamentos. No exterior são citados Onodera et al (1974) e Fukuoka (1980) e Lopez et al (2002). No Brasil, citam-se Pichler (1957), Vargas e Pichler (1957), Guidicini & Iwasa (1977), Tatizana et al (1987) e Menezes (1987).

Várias pesquisas tentaram definir um valor limite para a precipitação, patamar, acima do qual seriam desencadeados os deslizamentos. Essas pesquisas levaram à obtenção de valores diferentes para o tempo e a quantidade de chuvas necessárias para deflagração dos movimentos de massa, admitindo-se ainda a importância da precipitação acumulada antecedente.

Seguindo essa linha de pesquisa, Tatizana et al (1987), baseado em Guidicini e Iwasa (1977), após ampla pesquisa e análise numérica dos dados levantados na região de Cubatão-SP, chegou a uma fórmula, específica para a área estudada, correlacionando a quantidade de chuvas com os deslizamentos. Utilizando o método numérico dos mínimos quadrados, determinou as envoltórias de deslizamentos relacionadas à acumulação pluviométrica dos quatro dias anteriores aos deslizamentos, com precipitações horárias, tendo para isso utilizado a seguinte função geométrica:

$$I(AC) = k \cdot Ac^{-0,933}$$

I= Intensidade suficiente para desencadeamento

k= Parâmetro que depende das condições geotécnicas da encosta e da intensidade de deslizamentos

Ac= Chuva acumulada nos quatro dias anteriores

As diferenças de valores encontradas por pesquisadores como Onodera, Fukuoka (in Tatizana et al, 1987) e Lopez et al (2002) em outras regiões do mundo estão relacionados com as características locais dos solos, cobertura vegetal, permeabilidade, grau de saturação do solo no início do evento de chuva, nível d'água na encosta, declividade e tipologia das

chuvas. Chuvas prolongadas e de pouca intensidade tendem a se infiltrar mais no solo ao contrario das chuvas rápidas e de grande intensidade, que tendem a se escoar pela superfície.

A mecânica dos deslizamentos induzida pelas chuvas é caracterizada por uma ação progressiva e outra instantânea. A ação progressiva é representada pela gradativa saturação do solo pelas chuvas contínuas e pouco intensas. Esta chuva infiltra-se no solo aumentando seu peso específico, diminuindo sua coesão e resistência à compressão e ao cisalhamento.

A diminuição da coesão, como consequência do aumento da saturação do solo é muito importante na deflagração dos deslizamentos. Estudos realizados por Wolle (in Tatizana et al, 1987), mostraram uma acentuada queda na coesão em amostras de solo submetidas a ensaios de cisalhamento, quando comparadas às amostras com umidade natural e saturadas (Tabela3).

Ainda caracterizando a mecânica do deslizamento induzido pela chuva, cita-se que as chuvas fortes e de curta duração podem estar relacionadas a fenômenos instantâneos deflagradores de movimentos de massa tais como, a elevação brusca do nível d'água (NA), erosão, subpressão em descontinuidades e pressão das gotas de chuva e do vento atuando sobre a encosta.

Na elaboração do “*Mapa de Suscetibilidad del Terreno a los Deslizamientos*”, para a Colômbia, Lopez et al (2002), utilizaram 8 fatores do meio físico para caracterizar a suscetibilidade, tratando separadamente a chuva. Os quantitativos de chuvas foram utilizados, na tentativa de definir o momento em que o solo atingiria as condições críticas para deflagração dos movimentos de massa. Fernandes & Amaral (in Guerra, 1996) também adotaram a mesma linha de trabalho, citando o Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos do Rio de Janeiro elaborado em 1992, cujos parâmetros para definição do grau de suscetibilidade se relacionam somente com fatores do meio físico. Assim, considerando que a chuva é o agente deflagrador dos movimentos de massa, o grau de suscetibilidade a deslizamentos é definido pelos parâmetros do meio físico (geologia, declividade, forma do perfil de encosta etc.), não sendo influenciado pela chuva que se relaciona fundamentalmente à vulnerabilidade da área. Como tal, é utilizado em conjunto com o mapa de risco do Município do Rio de Janeiro (Amaral in Guerra ,2004).

### 7.1 Correlação entre chuvas e deslizamentos na RMR

Gusmão, 1993b (in Alheiros, 1998), encontrou a partir de cálculos para o sítio histórico de Olinda, valores de 600 mm de chuva, como correspondente ao volume máximo de água para saturação do solo da área antes de se chegar à situação de deslizamento. Infelizmente,

Tabela 3: Variação da coesão em ensaios de resistência ao cisalhamento entre amostras com umidade natural e saturada. Fonte: extraído de Wolle, in Tatizana (1987).

| HORIZONTE |                            | DENSIDADE NATURAL (T/M <sup>3</sup> ) | ESPESURA (M) | INCLINAÇÃO DO TALUDE |                 | RESISTÊNCIA EM ENSAIOS DE CISALHAMENTO DIRETO |                  |                      |                  |
|-----------|----------------------------|---------------------------------------|--------------|----------------------|-----------------|---|------------------|----------------------|------------------|
|           |                            |                                       |              |                      |                 | Umidade Natural                               |                  | Saturados            |                  |
|           |                            |                                       |              | MÁX                  | MIN             | c(t/m <sup>2</sup> )                          | φ                | c(t/m <sup>2</sup> ) | φ                |
| IA        | SOLO COLUVIAL COM RAÍZES   | 1,4                                   | 0,5          | 46 <sup>0</sup>      | 46 <sup>0</sup> | >0,6  | ~34 <sup>0</sup> | ≥ 0,1                | ~34 <sup>0</sup> |
| IB        | SOLO COLUVIAL “SEM” RAÍZES | 1,4                                   | 0,5          |                      |                 | 0,6   | 34 <sup>0</sup>  | 0,1                  | 34               |
| II        | SOLO DE ALTERAÇÃO          | 1,8                                   | 2,0          |                      |                 | 1,2   | 45 <sup>0</sup>  | 0,4                  | 39               |
| III       | ZONA DE BLOCOS             | 2,1                                   | 3,0          | 54 <sup>0</sup>      | –               | ≥ 0   | >54 <sup>0</sup> | 0                    | ~54              |
| IV        | ROCHA ALTERADA             | 2,4                                   | (?)          | 90 <sup>0</sup>      | –               | (?)   | (?)              | (?)                  | (?)              |

esses valores, por terem sido calculados de maneira pontual, não podem ser extrapolados para toda RMR, para que se possa tentar uma correlação com os escorregamentos na área.

Alheiros (1998) considerou valores de chuva média anual, a partir de isoietas com as séries históricas descontínuas e tentou correlacioná-las com os graus de suscetibilidade. Diferente da autora optou-se neste trabalho, por considerar a chuva um agente deflagrador dos movimentos de massa e não um parâmetro de cálculo da suscetibilidade, seguindo o exemplo de Suarez et al (2002) e Amaral & Feijó (in Guerra, 2004). Assim, o grau de suscetibilidade natural do meio físico aos deslizamentos não se altera, sendo a chuva o fator que irá influenciar na definição do momento de rompimento das condições de equilíbrio do solo (índice crítico), como no cálculo realizado por Gusmão, op. cit para Olinda. A definição desse momento do rompimento das condições de equilíbrio do solo, demanda a obtenção que grande volume de dados pluviométricos. Na cidade do Rio de Janeiro Amaral, op. cit relata a obtenção de dados em 32 pluviômetros.



Na RMR o trabalho mais detalhado sobre a pluviometria encontra-se em Moreira (in CPRM, 2003), que usou séries históricas das décadas de 1960 até 1990, utilizando dados de toda a costa do Estado de Pernambuco.

As séries históricas, brutas ou consistidas das chuvas na RMR, disponíveis no site da Agência Nacional de Águas – ANA ([www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)) mostram que apenas três estações possuem continuidade desde 1967 até 1990 (Tabela 4) e, mesmo assim, não fornecem informações referentes à hora de início e duração das chuvas. NA RMR os dados se resumem ao levantamento do número de eventos com vítimas divulgado pelos jornais locais. Esses dados foram utilizados por Alheiros (1998) e, até a presente data, apenas o município de Recife tem o registro de deslizamentos organizado a partir do ano de 2001, muito embora, na forma de fichas com as informações de todos os eventos atendidos pela defesa civil do município englobando vários tipos de ocorrências, incluindo os deslizamentos.

A identificação de deslizamentos pretéritos em fotos aéreas ou imagens de satélite e, sem registros pela imprensa ou órgãos públicos é difícil, nessa área. Esse fato se dá, devido à pequena ocorrência espontânea desses eventos e às condições de ocupação da RMR onde as áreas de deslizamentos são logo reocupadas.

Assim, essa correlação entre chuvas e deslizamentos na RMR resume-se à comparação entre precipitação e o número de ocorrências associadas ou não a deslizamentos numa determinada área e data. O alto grau de insegurança na aplicação desses dados poderia falsear os resultados obtidos nos mapas geoprocessados diminuindo sua confiabilidade. Atualmente encontra-se em andamento pelo menos uma tese de doutoramento sobre o tema no Departamento de Engenharia Civil-Área de Geotecnia da UFPE, o que tornará possível, em futuro breve, adicionar o tema chuvas x deslizamentos na matriz de cálculo da suscetibilidade e do risco na RMR.

Tabela 4: Estações pluviométricas da RMR com séries de medições contínuas até 2005, em amarelo as estações em operação atualmente.

| ESTAÇÃO                     | CÓDIGO | MUNICÍPIO               | LATITUDE  | LONGITUDE  | ORGAO OPER | PERIODO             | LAT_UTM     |
|-----------------------------|--------|-------------------------|-----------|------------|------------|---------------------|-------------|
| ABREJE LIMA                 | 734033 | ABREJE LIMA             | -07:54:00 | -034:54:00 | EMATER     | Não disponível na w | 9126234,029 |
| ENGENHO ALGODOAIS           | 834000 | CABO DE SANTO AGOSTINHO | -08:19:00 | -034:59:00 | SUDENE     | 09/1965 a 12/1987   | 9080100,747 |
| ENGENHO BELA ROSA           | 835017 | SAO LOURENÇO DA MATA    | -08:01:00 | -035:07:00 | Desativada | 04/1967 a 11/1993   | 9113212,562 |
| CABO                        | 835008 | CABO DE SANTO AGOSTINHO | -08:18:00 | -035:02:00 | SUDENE     | 01/1963 a 12/1984   | 9081916,492 |
| CABO                        | 835115 | CABO DE SANTO AGOSTINHO | -08:18:00 | -035:03:00 | SUDENE     | Não disponível na w | 9081907,041 |
| ENGENHO SÍTIO               | 735050 | SAO LOURENÇO DA MATA    | -07:58:05 | -035:09:24 | CPRM       | 04/1967 a 05/2007   | 9118567,372 |
| ENGENHO TABATINGA           | 835020 | IFOJUCA                 | -08:21:00 | -035:03:00 | Desativada | 11/1967 a 12/1977   | 9076375,916 |
| IFOJUCA                     | 835032 | IFOJUCA                 | -08:24:00 | -035:04:00 | SUDENE     | 01/1977 a 07/1979   | 9070835,139 |
| USINA IFOJUCA (IAA)         | 835030 | IFOJUCA                 | -08:24:00 | -035:04:00 |            | 01/1963 a 12/1978   | 9070835,139 |
| JABOATÃO 410                | 835033 | JABOATÃO DOS GUARARAPES | -08:07:00 | -035:01:00 |            | Não disponível na w | 9102206,150 |
| MORENO                      | 835036 | MORENO                  | -08:07:00 | -035:05:00 | SUDENE     | 01/1967 a 12/1990   | 9102169,007 |
| NOSSA SENHORA DA LUZ        | 835067 | SAO LOURENÇO DA MATA    | -08:03:00 | -035:06:00 | SUDENE     | 01/1967 a 12/1990   | 9109534,514 |
| CLINDA                      | 834001 | CLINDA                  | -08:01:00 | -034:51:00 | INMET      | Não disponível na w | 9113354,569 |
| PIRAPAMA                    | 835138 | CABO DE SANTO AGOSTINHO | -08:16:45 | -035:03:48 | CPRM       | 03/1987 a 05/2007   | 9084204,075 |
| RECIFE / AFOGADOS           | 834017 | RECIFE                  | -08:04:46 | -034:54:13 | CPRM       | 04/2000 a 05/2007   | 9106383,596 |
| RECIFE (LAB. DE HIDRÁULICA) | 834003 | RECIFE                  | -08:02:00 | -034:56:00 |            | Não disponível na w | 9111463,689 |
| RECIFE (IBURA)              | 834004 | RECIFE                  | -08:07:00 | -034:56:00 | SUDENE     | 06/1968 a 05/1974   | 9102250,877 |
| RECIFE (IBURA)              | 834013 | RECIFE                  | -08:07:00 | -034:56:00 |            | Não disponível na w | 9102250,877 |
| RECIFE (CURADO)             | 834006 | RECIFE                  | -08:03:00 | -034:55:00 | SUDENE     | 07/1967 a 12/1985   | 9109633,778 |
| RECIFE (CURADO)             | 834007 | RECIFE                  | -08:03:00 | -034:55:00 | INMET      | Não disponível na w | 9109633,778 |
| RECIFE (CODECIFE)           | 834016 | RECIFE                  | -08:05:00 | -034:56:00 |            | 01/1987 a 12/1988   | 9105938,006 |
| RECIFE (CENTRAL) (RFN)      | 834014 | RECIFE                  | -08:02:00 | -034:54:00 |            | 01/1924 a 12/1958   | 9111485,877 |
| RECIFE (CAXANGA)            | 834005 | RECIFE                  | -08:02:00 | -034:53:00 |            | 02/1911 a 08/1970   | 9111494,358 |
| ESCADA                      | 835022 | ESCADA                  | -08:22:00 | -035:14:00 | DNCCS      | 01/1920 a 12/1983   | 9074422,288 |
| ESCADA 389                  | 835021 | ESCADA                  | -08:22:00 | -035:14:00 |            | Não disponível na w | 9074422,288 |
| ESCADA (RFN)                | 835023 | ESCADA                  | -08:22:00 | -035:14:00 |            | 01/1923 a 12/1949   | 9074422,288 |
| USINA TIJUMA (IAA)          | 735084 | SAO LOURENÇO DA MATA    | -07:58:00 | -035:04:00 | IAA        | 04/1967 a 01/1995   | 9118771,748 |

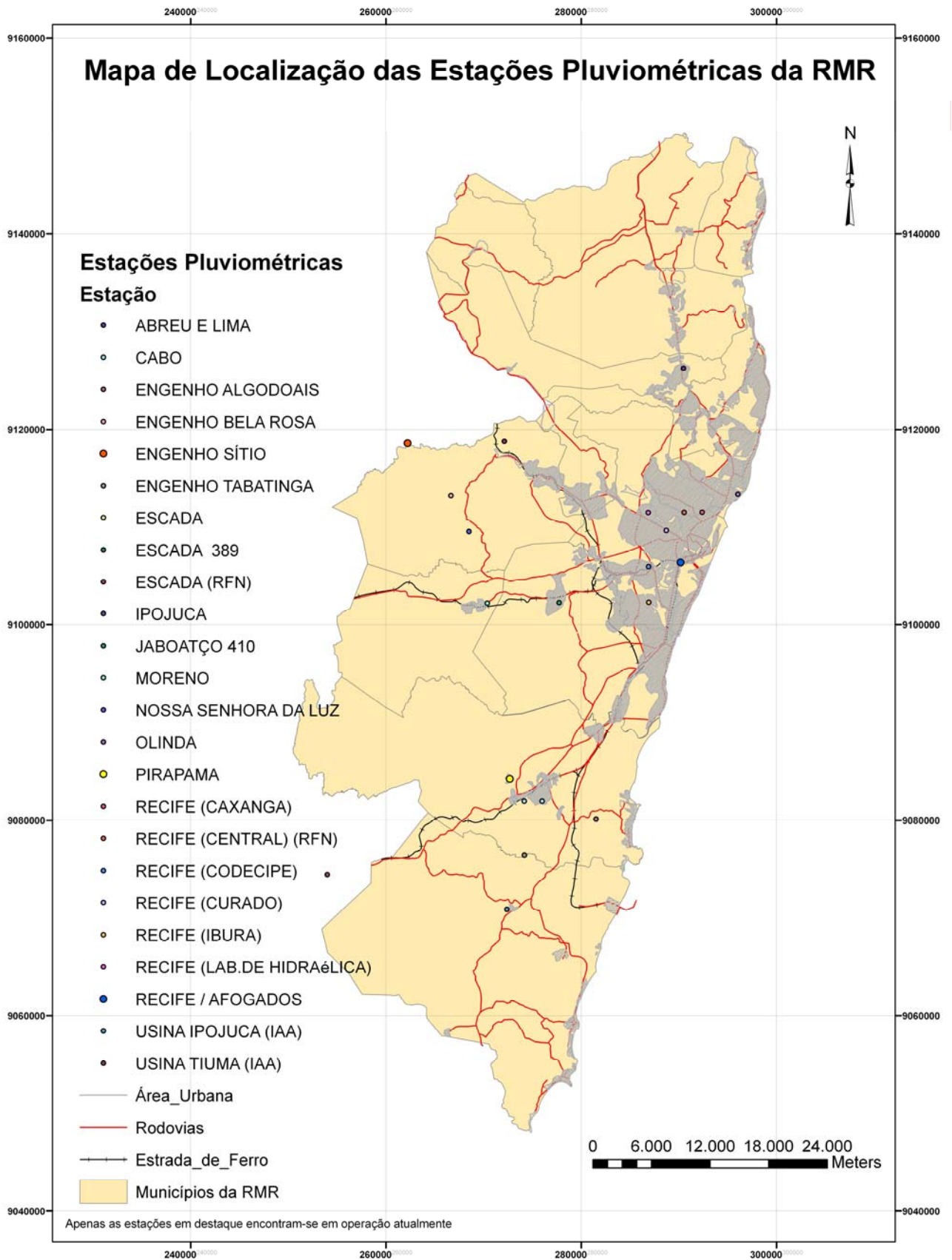


Figura 10: Localização das estações pluviométricas na RMR de acordo com dados da ANA.

## **2.8 Fatores Antrópicos Condicionantes dos Deslizamentos nas áreas Urbanas**

Nas áreas urbanas a literatura técnica aponta para um caráter induzido da maioria dos deslizamentos, tais como a geometria inadequada dos taludes de corte com relações de altura e inclinação, não admissíveis para o material cortado; lançamento de aterros sem compactação; impermeabilização do terreno; plantio de vegetação inadequada; alteração das drenagens naturais e, descartes inadequados das águas servidas.

Além disso, o acúmulo de lixo nas encostas torna-se mais um fator de risco para as comunidades que habitam em seu entorno. Esses materiais de características geotécnicas pouco conhecidas absorvem muita água, o que aumenta o seu peso específico e serve como “lubrificante” entre suas partículas, podendo ocasionar deslizamentos e corridas de materiais de proporções catastróficas.

## **2.9 Caracterização dos Movimentos de Massa**

Os deslizamentos ou escorregamentos são definidos como eventos geológicos originados a partir de fluxos ou movimentos gravitacionais de materiais (solos, sedimentos e rochas), desencadeados por agentes naturais (chuvas, terremotos etc.) ou, antrópicos (explosões, alteração da geometria dos taludes, tráfego de veículos, etc.). Eles contribuem na evolução das formas do relevo e, são também, causadores de grandes danos sócios econômicos, Carvalho e Riedel (2005). A magnitude desses movimentos de massa é bastante variável, tanto no que se refere à velocidade, volume, dimensões ou tipo de material deslocado.

Existem várias classificações internacionais para os movimentos de massa, sendo que a primeira tentativa de classificação desses movimentos deve-se a Dana em 1862. Posteriormente seguiram-se outras como as de Sharpe (1938), Varnes (1958 e 1978) e Hutchinson (1988), como citado em Dias (2002). De todas estas classificações uma das mais utilizadas pela comunidade científica é a de Varnes (1978), também adotada pela Associação Internacional de Geologia de Engenharia (IAEG).

No Brasil, devem ser citadas as classificações de Vargas (1966), Nunes (1969), Freire (1984), a de Guidicini e Nieble (1984), que na verdade trata-se de uma modificação da classificação de Magalhães Freire e, a de Carvalho (in Dias, 2002). Além dessas deve ser citada a classificação de Augusto Filho (1992), uma simplificação da classificação de Magalhães Freire, adotada pelo Ministério das Cidades (2004), no curso de Capacitação em Mapeamento e Gerenciamento de Risco.

Apesar dos primeiros registros de deslizamentos nas encostas brasileiras datarem da época colonial (deslizamentos registrados no antigo morro do Castelo no Rio de Janeiro),

somente a partir do desenvolvimento da mecânica dos solos, na primeira metade do século XX, é que tais fenômenos começaram a ser estudados em profundidade.

### 2.9.1 Classificação dos Movimentos de Massa

Os movimentos de massa podem ser classificados conforme o material envolvido, o tipo de mecânica responsável pela sua movimentação bem como, pela sua velocidade de deslocamento, Carvalho (2005).

A mecânica dos deslizamentos é caracterizada pela ruptura das condições de equilíbrio de uma massa de solo, sedimentos ou rochas, em um talude natural ou de origem antrópica. Os fatores responsáveis pela ruptura desse equilíbrio podem ser de origem geológica (fraturamentos, presença de minerais argilosos expansivos preenchendo as fraturas das rochas, etc.), geomecânicas (alterações do peso específico do solo devido à saturação, perda de coesão etc.). Ou, climáticas (pluviosidade), alterações do lençol freático e antrópicas (compactação do terreno aumentando o seu peso específico, vibrações provocadas por explosões e tráfego de veículos pesados) ou devido a forças naturais como os terremotos ou tsunamis.

Cada tipo de material apresenta uma relação específica com o movimento produzido e conseqüentemente, é possível estimar-se o seu grau de suscetibilidade ao desenvolvimento de um tipo específico de movimento.

Os tipos de materiais sujeitos a movimentos de massa (gravitacionais) são divididos em:

- Materiais rochosos
- Solos e sedimentos
- Materiais de origem antrópica (aterros e lixo)

Os materiais rochosos constituem um meio descontínuo onde o grau de fraturamento do maciço influencia na sua anisotropia. Além disso, o tipo litológico, a distribuição, o ângulo de atrito, o tipo de preenchimento, das fraturas e também das características de suas paredes, serão fundamentais no balanço de forças que garantem o equilíbrio dos taludes e blocos formados por esses materiais.

Os seguintes tipos de movimento podem ocorrer em taludes rochosos: queda de blocos, tombamentos (por ruptura planar, caso particular de tombamento), deslizamentos rotacionais, translacionais, planares e em cunha (Figura 9). Nesses taludes, os deslocamentos de materiais têm sua direção controlada pelos sistemas de fraturamentos e, nesse movimento podem se formar marcas (slickensides) nas paredes do maciço, indicando a direção de deslocamento do material.

Na região dos estudos não são comuns movimentos de massa relacionados a materiais rochosos, tendo em vista que, geralmente, os maciços rochosos estão cobertos por espesso manto de intemperismo. Aliás, esta é uma situação típica do ambiente tropical, onde os movimentos de massas rochosas estarão freqüentemente, ligados a taludes de origem antrópica, Augusto Filho (1999). Entretanto, bem próximo a Região Metropolitana do Recife-RMR, ao longo da BR 232, são registrados alguns casos de movimentos de massas rochosas relacionados aos taludes de corte para a abertura da estrada.

Os solos e sedimentos inconsolidados apresentam-se como um meio onde as características isotrópicas ou anisotrópicas podem ser mais ou menos pronunciadas. Corpos de solos residuais podem ser mais isotrópicos em suas propriedades (como ângulo de atrito ou permeabilidade) do que os solos coluvionares cuja geometria da sua deposição e seu grau de coesão, pode variar amplamente ao longo de toda espessura do material.

No desencadeamento dos movimentos das massas de solo, influenciam diretamente as características geotécnicas dos materiais (granulometria, coesão, ângulo de atrito, etc.), a cobertura vegetal, o relevo, a água (nas formas de chuva, drenagem superficial ou lençol subterrâneo) e a forma e ocupação das encostas. Em função da geometria, os deslizamentos são classificados em planar, rotacional e translacional. O creep e corridas de lama ou de detritos são caracterizados como outros movimentos de massa (figuras 10 e 11, extraídas de ITGE, 1991).

Os deslizamentos planares são típicos de camadas de solo pouco espessas, separadas por planos de fraqueza tais como, o contato entre duas camadas de solo de composições diferentes. Na RMR, os deslizamentos são basicamente do tipo planar e se localizam principalmente sobre as áreas constituídas por sedimentos da Formação Barreiras.

Os deslizamentos rotacionais são característicos dos solos mais espessos e homogêneos como os solos residuais (normalmente). Enquanto os translacionais caracterizam-se pelo movimento, para frente e para baixo, do material deslizando ao longo de uma superfície mais ou menos plana. Neste movimento registra-se também, uma componente rotacional de menor intensidade. A figura 9 mostra alguns desses movimentos.

O rastejo, ou creep, caracteriza-se por um movimento bastante lento da massa de solo em direção ao pé do talude enquanto as corridas de lama ou de detritos caracterizam-se por um deslocamento de elevada velocidade dos materiais, na forma de um fluido de alta viscosidade (devido ao grande teor de água contida).

Neste trabalho, dividiremos os materiais de origem antropogênica em aterro e depósitos de materiais artificiais (lixo doméstico e industrial e esgoto). O primeiro é

constituído por materiais naturais, remobilizados pelo homem para construção civil. Enquanto o segundo é constituído por materiais artificiais, descartados de forma aleatória sobre a superfície do terreno ou nos corpos de água.

Os materiais de aterro e os depósitos de origem antrópica possuem características geotécnicas complexas algumas vezes, comparáveis às características dos solos e sedimentos quanto aos tipos e geometria dos movimentos.

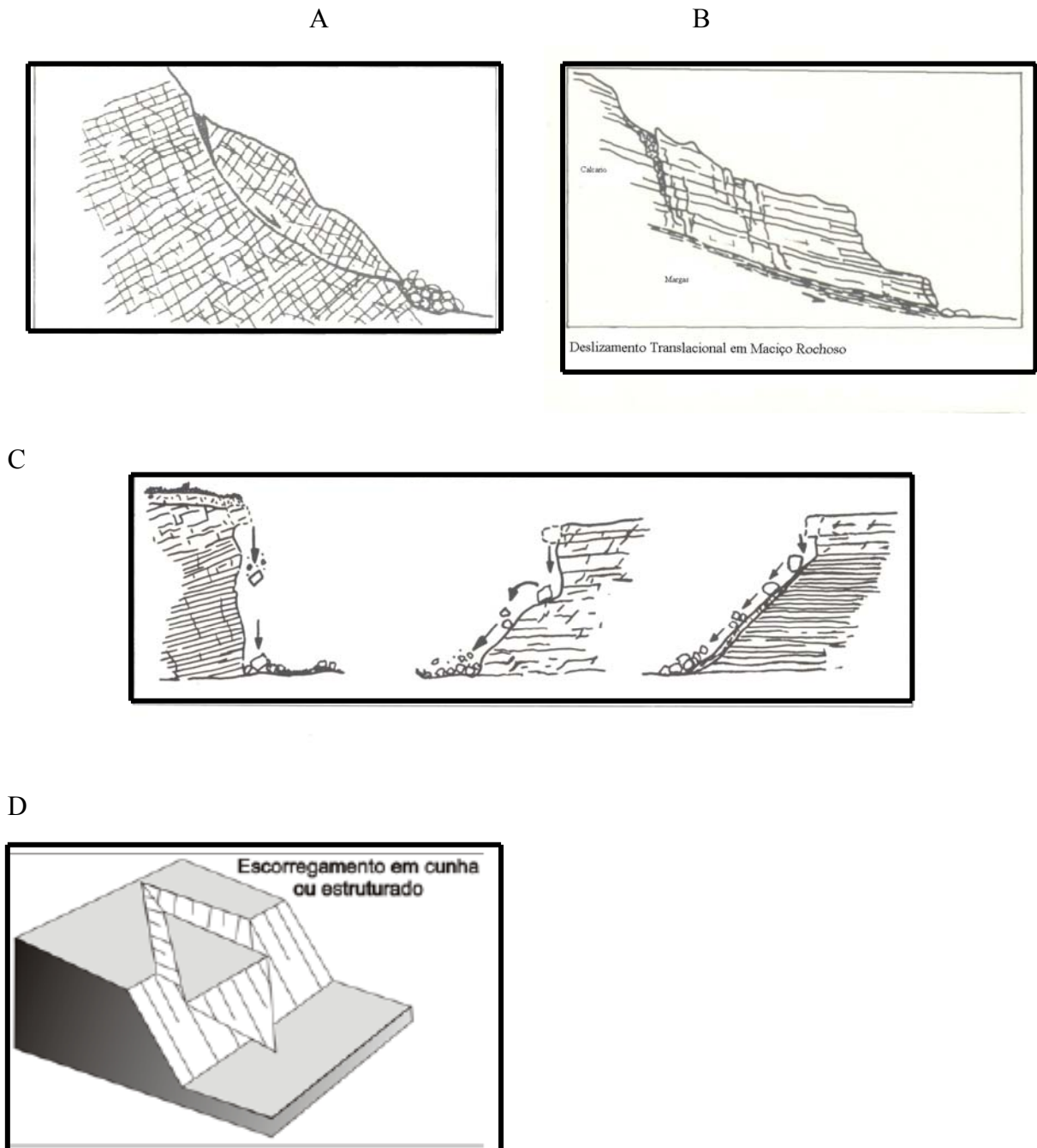


Figura 9: (a) Deslizamento Rotacional em maciço Rochoso, (b) Deslizamento Translacional em Maciço Rochoso, (c) Queda, Tombamento e rolamento de bloco, (d) Deslizamento em cunha ou estruturado (a, b, c extraído de ITGE, 1991; d extraído de MC, 2006).

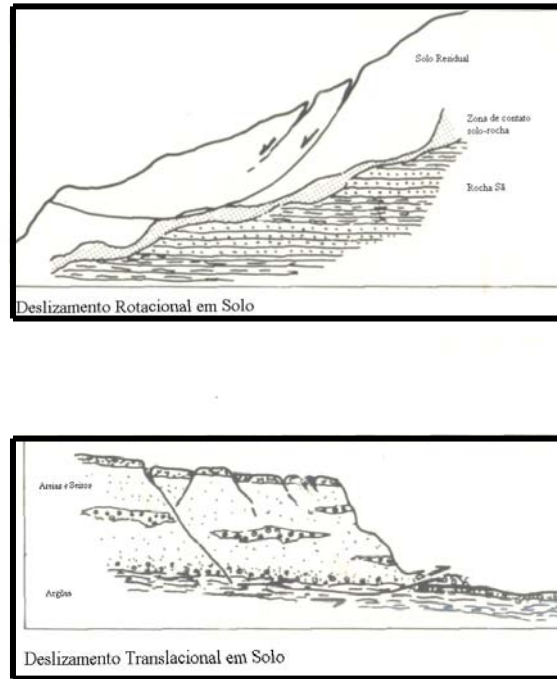
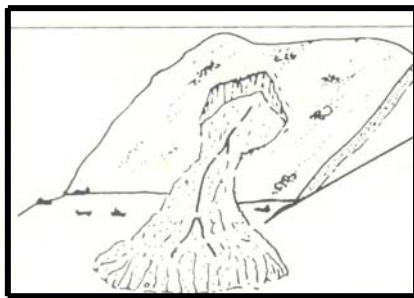


Figura 10: Deslizamentos rotacional e translacional em solo (extraído de ITGE, 1991).

A



B

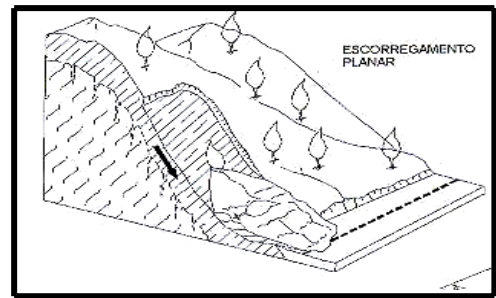


Figura 11: (A) Corrida de Lama (extraído de ITGE, 1991) e (B) deslizamento planar (extraído de Oliveira e Brito, 1998).



## 2.10 Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento

A utilização de ferramentas de sensoriamento remoto para pesquisa de vários temas, entre eles os relacionados à suscetibilidade a deslizamentos e a delimitação de áreas de risco, encontra-se em expansão nas últimas duas décadas. A relativa facilidade de interpretação visual das feições do terreno e das paisagens regionais mostradas nas imagens de sensoriamento remoto são, o maior atrativo para o uso dessas imagens.

Com o advento das imagens de alta resolução em fins da década de 1990, tornou-se possível, por exemplo, localizar todos os deslizamentos recentes e as cicatrizes de deslizamentos mais antigos em uma determinada área. Satélites como o IKONOS e o Quickbird, fornecem imagens do terreno com resolução espacial (o tamanho do menor objeto que pode ser representado em uma imagem), de até 60 centímetros. Antes, somente deslizamentos de grandes dimensões podiam ser vistos nas imagens de satélite. Um exemplo de imagem do satélite *Quick Bird* pode ser visto na figura 12.

As fotografias aéreas foram, e ainda são bastante utilizadas para várias atividades de pesquisa, inclusive geológicas geotécnicas e geoambientais. Entretanto, os custos e o tempo para obtenção de imagens aerofotográficas de uma região, são muito mais elevados que aqueles necessários para obtenção de imagens de satélites de alta resolução e que, fornecem dados de qualidade muito elevada.

Através das imagens de satélite é possível delimitar não só as áreas de escorregamentos e deslizamentos, mas também, áreas com propensão (suscetíveis a tais movimentos de massa). Assim, por exemplo, áreas compostas por argilas expansivas (podem ser detectadas por análises radiométricas) bem como, elementos do relevo, contribuintes para aumentar a suscetibilidade aos deslizamentos e, a evolução do número de deslizamentos ao longo do tempo em uma região.

O conhecimento das propriedades físicas dos objetos, visualizados nas imagens de satélite, é baseada no comportamento espectral destes e de suas interações com a energia eletromagnética, em diferentes comprimentos de onda. Ao captar essa energia refletida ou emitida pelos objetos (alvos), um sistema sensor a bordo do satélite (ou avião), registra essas informações em formato digital ou analógico.

Quando se trata de estudar as formas do relevo, a análise de modelos digitais de terreno obtidos a partir de estereoscopia de imagens de satélites (como o ASTER) ou, de imagens obtidas por radares orbitais (como o SRTM), possibilita o conhecimento mais preciso das declividades e formas de relevo, tão úteis no estudo da suscetibilidade natural de uma área aos deslizamentos. Tais modelos também podem ser obtidos através da digitalização das

informações contidas nas cartas topográficas tradicionais. Exemplos dessas imagens podem ser vistos nas figuras 13 e 14.

## **2.11 Características das imagens utilizadas**

### 2.11.1 Imagens Geocover

O mosaico *Geocover* é formado por um conjunto de imagens ETM+, do satélite LANDSAT 7, ortorretificadas. Possui uma resolução espacial de 14,25 metros (resultante da fusão entre as bandas 7, 4 e 2, com a banda 8 (de alta resolução)).

Seu controle de posicionamento horizontal foi realizado a partir de 6 a 12 pontos identificados por cena, com erro quadrático médio de 50 metros. O controle vertical é feito com base em modelo digital de terreno com precisão de 3 arco segundos, quando disponíveis ou, dos dados digitais do GTOPO 30 (modelo digital de terreno com precisão de 30 arco segundos). Esse mosaico é formado por imagens obtidas pelo satélite LANDSAT 7, entre os anos de 1999 e 2000. Os arquivos digitais são distribuídos no formato Mosaic, com projeção UTM e Datum WGS 84, Crepani e Medeiros (2005).

As imagens *Geocover* estão referenciadas para o hemisfério norte. Dessa forma é necessário abrir o arquivo. *sdw*, pertencente ao conjunto de arquivos disponibilizados junto com a imagem Geo Cover e , alterar a última linha deste. Essa alteração é feita subtraindo o valor encontrado na última linha desse arquivo do valor 10.000.000. O valor encontrado será o correspondente à coordenada do canto inferior esquerdo da imagem, convertida para o hemisfério sul. Essa alteração do arquivo é feita utilizando-se o bloco de notas do Windows.

As imagens *Geocover* encontram-se disponíveis, gratuitamente, no site <http://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>.

### 2.11.2 Imagens CBERS 2

Essas imagens são obtidas pelo satélite sino brasileiro China-Brazil Earth Satellite (CBERS), que possui 3 câmeras para imageamento da superfície da terra. A primeira é denominada CCD (câmera de imageamento de alta resolução), que possui uma resolução espacial de 20 metros, nas bandas 1 (azul), banda 2 (verde), banda 3 (vermelho), banda 4 (infravermelho próximo) e banda 5 (Pancromática). As bandas de 1 até 4 captam informações das faixas do espectro eletromagnético similares àquelas obtidas pelas mesmas bandas do satélite LANDSAT 7. Já a banda Pancromática adquire informações dos comprimentos de onda entre 0,51 e 0,73 $\mu$ m.

A segunda câmera transportada pelo CBERS é a RSI, imageadora de varredura de média resolução (80 metros), imageando no espectro similar as bandas 5,6 e 7 do Landsat e, a

terceira câmera é a WFI (câmera imageadora de amplo campo de visada, resolução espacial de 260 metros). Neste trabalho foi utilizada apenas a imagem da câmera CCD, adequada aos mapeamentos na escala de 1:100.000 por apresentar resolução espacial de 20 metros.

Foram utilizadas também as imagens RADARSAT (modo Standard), que serviram de auxílio na definição das estruturas geológicas regionais e das formas de relevo (com resolução espacial de 12 metros, reamostrada para 15 metros). As imagens de radar obtidas pelo SRTM (SMUTLLE RADAR TOPOGRAFIC MISSION) foram utilizadas na extração automática de drenagens e na extração de feições geomorfológicas.

### 2.11.3 Imagens LANDSAT

Foram utilizadas duas imagens Landsat 7 ETM+ , obtidas gratuitamente através do site <http://glcf.umiacs.umd.edu/index.shtml>, ortorretificadas e compostas pelas bandas 1 até 8. A resolução espacial dessas imagens é de 28 (metros aproximadamente), para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 e, 60 e 15 metros, respectivamente, para as bandas 6 e 8. As características de projeção e datum são similares aquelas das imagens Geo Cover.



Figura12: Imagem *Quickbird*, Recife (PE), resolução espacial de 1 metro. Fonte: Google Earth



Tabela 4: Principais Características das Imagens Utilizadas

| <b>IMAGEM</b>   | <b>Fonte</b>      | <b>Resolução espacial (nominal)</b> | <b>Resolução espectral</b> | <b>Sistema Cartográfico/Datum</b> |
|-----------------|-------------------|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| <i>Geocover</i> | Internet (grátis) | 15 metros                           | RGB                        | UTM-WGS84                         |
| <i>Landsat</i>  | Internet (grátis) | 30-15 metros                        | 6 bandas+1 PAN             | UTM-WGS84                         |
| CBERS 2         | Internet (grátis) | 20 metros                           | 4 bandas                   | UTM-WGS84                         |
| <i>SRTM</i>     | Internet (grátis) | 90 metros                           | 1 banda                    | UTM-WGS84                         |
| <i>Radarsat</i> | SGB-CPRM          | 12 metros                           | 1 banda                    | UTM-WGS84                         |



Figura 13: Imagem ASTER, Bagé (RS). Composição R, G, B (1, 2,3).

#### 2.11.4 Imagem SRTM

A localização da RMR proporciona a presença de uma constante cobertura de nuvens. Essa situação dificulta a utilização de imagens de satélite convencionais que raramente conseguem ser obtidas com uma pequena cobertura de nuvens.

Essa dificuldade pode ser contornada pela utilização de sensores remotos que utilizam a faixa do espectro eletromagnético correspondente às microondas, que sofrem uma influência quase nula das condições atmosféricas e, nenhuma influência das condições de iluminação.

Assim, aproveitando essas características dos sensores de imageamento por radar, foram utilizadas na RMR, imagens provenientes dos sensores SRTM e RADARSAT, para avaliação de algumas características do meio físico, tais como: drenagem, morfologia do terreno e estruturas geológicas.

O SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) corresponde à sigla de uma missão espacial conjunta da NASA (National Aeronautics and Space Administration), da NIMA (National Imagery and Mapping Agency), dos Estados Unidos da América e das agências espaciais européias da Alemanha (DLR, Deutsche Zentrum für Luft und Raumfahrt) e da Itália (ASI, Agenzia Spaziale Italiana), realizada no período de 11 a 22 de fevereiro de 2000.

Essa missão tinha como objetivo realizar o imageamento da superfície terrestre, entre as latitudes de 60° N e 56° S, gerando um modelo topográfico digital com precisão de 1 arco de segundo (aproximadamente 30 metros) no equador. Esse equipamento de radar, que utilizava as bandas C e X era transportado a bordo da espaçonave *Endavour*. Os dados desse levantamento referentes a banda C estão disponibilizados gratuitamente pela NASA na internet (via FTP), no seguinte endereço: <ftp://edcsgs9.cr.usgs.gov/pub/data/srtm/SouthAmerica/>

Os dados disponibilizados encontram-se com resolução espacial de 30 metros (ou seja, cada pixel da imagem conteria informações de uma área de 30x30 metros do terreno), para o território americano e, com resolução de 90 metros (3 arco - segundo) para o restante do mundo. Segundo informações constantes no endereço acima citado, dados de outras áreas do planeta, Além dos Estados Unidos da América, também podem ser fornecidos com a precisão de 30 metros, mediante análise de pedido feito pelos usuários. Nesse caso, o tempo para análise do pedido e o fornecimento dos dados não são mencionados. Essas imagens são fornecidas nos formatos geotiff ou hdf com sistema de projeção geográfico e datum WGS84 com altitudes em metro.

A aquisição dos dados de altimetria foi feita através do método da interferometria (fig. 17) que se baseia na diferença de fase de duas imagens de radar obtidas sobre um mesmo local, o que torna possível obter os valores de elevações ou mudanças no relevo da superfície da terra, com precisão maior que os obtidos por estereoscopia, CRCS (in Barros et al, 2004).

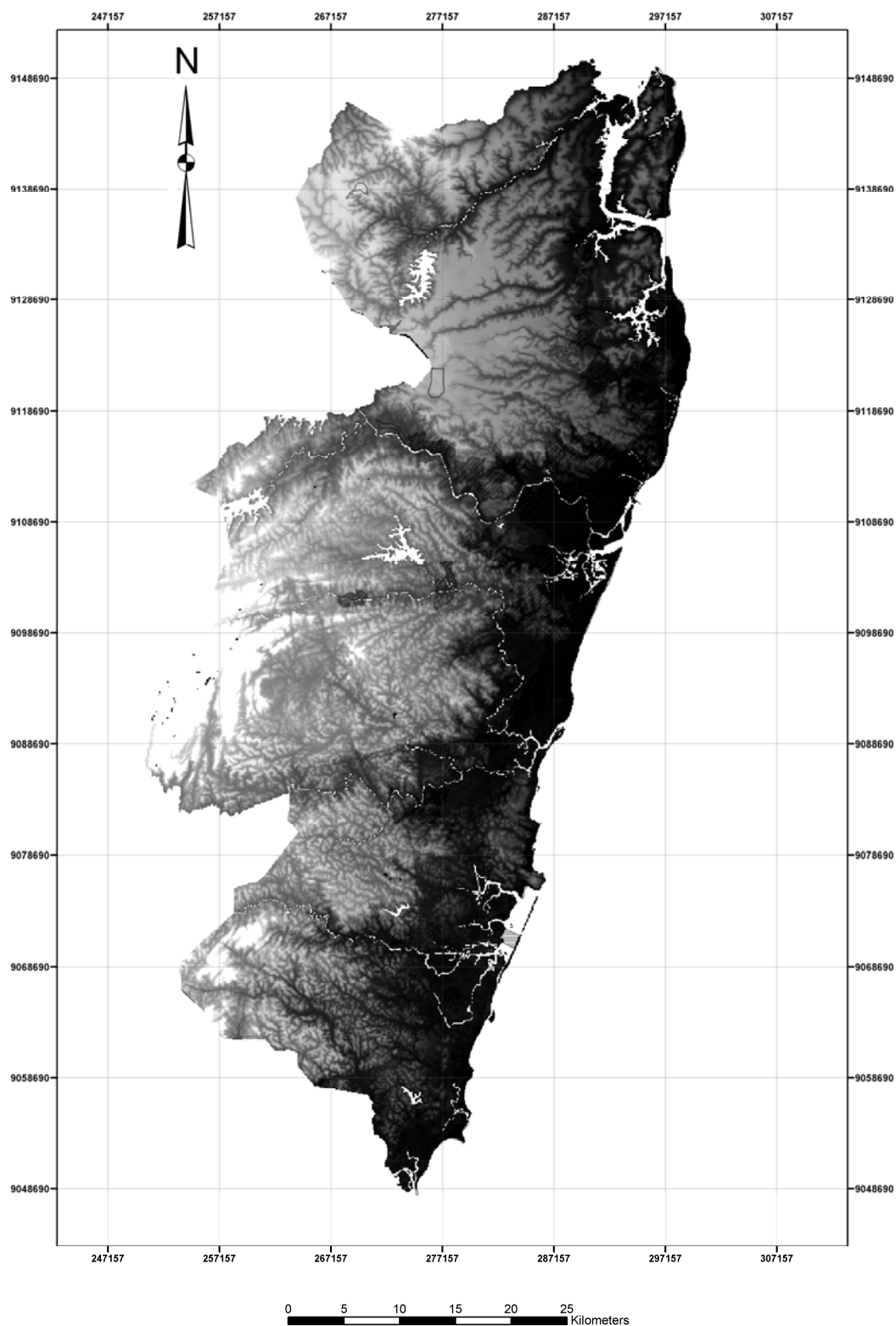


Figura 14: Recorte de Imagem SRTM da Região Metropolitana do Recife

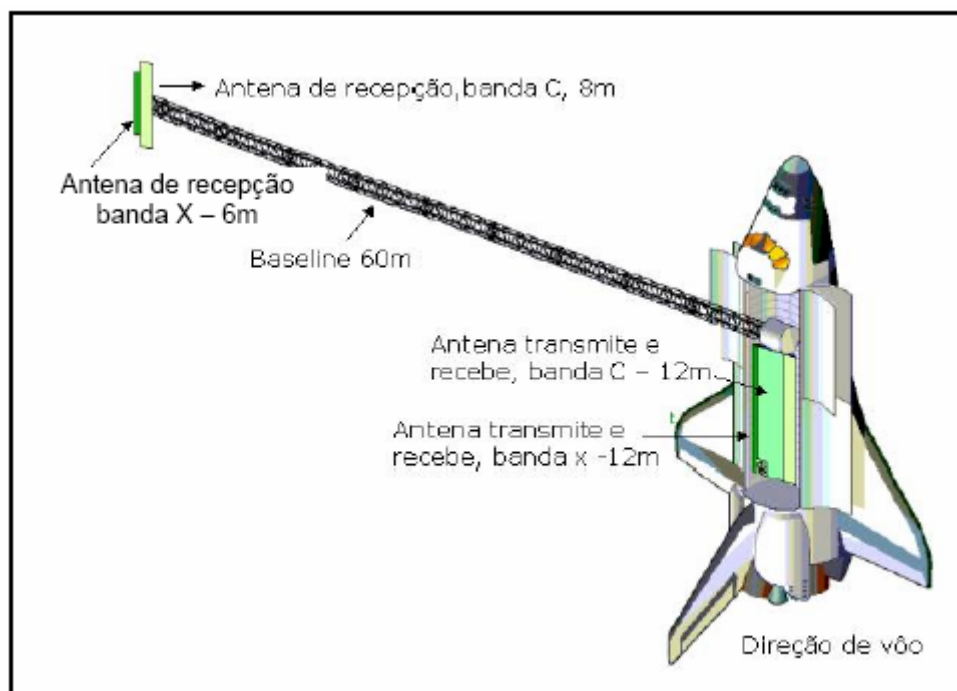


Figura 15: Missão SRTM - Detalhes do Radar Interferométrico. Fonte: Santos (2005)

## 2.12 Sistema de Informações Geográficas

O sistema de informações geográficas caracteriza-se por ser uma ferramenta projetada com o objetivo de armazenar, processar e recuperar com rapidez e precisão, grandes volumes de informações georreferenciadas ou seja, que podem ser localizadas na superfície da terra através de suas coordenadas geográficas. Sua utilização é bastante ampla pelas diversas áreas do conhecimento humano, indo desde o monitoramento de redes de postos de saúde até o monitoramento de áreas de risco (Davis Jr. 2000).

A concepção e implementação desses sistemas tomaram como base, não só, técnicas de informática como também, conceitos de cartografia, geografia, topografia e geodésia (Davis Jr. 2000), o que torna a apresentação das informações, tanto em meio digital como analógico, de forma bem familiar para a maioria dos usuários dessa ferramenta.

O uso de ferramentas de computação na construção de mapas temáticos, básicos e interpretativos, é procedimento relativamente recente, mas, com rápido crescimento e aceitação dentro da comunidade científica.

Assim, a utilização dessas ferramentas tornou possível gerar um conjunto de mapas base que, inseridos em ambiente SIG, permite a sobreposição, cruzamento e reclassificação

deste ou de seus parâmetros, de forma isolada, rápida e precisa. Além disso, permite que essas operações sejam repetidas, várias vezes, na procura do ajuste do modelo desejado.

Os Sistemas de Informação Geográficas utilizam dois tipos de abordagem para resolução dos problemas propostos. O primeiro é aquele baseado na avaliação dos dados coletados (*data driven*) e o segundo, conhecido como *knowledge driven* (utilizado neste trabalho), se baseia no conhecimento dos processos e seus condicionantes, sendo conduzido para o cruzamento entre os dados existentes, permitindo que cada variável envolvida no processo seja ponderada segundo sua importância dentro do caso em estudo, Carvalho e Riedel (2005).

Os SIGs proporcionam ainda o suporte a decisões, que são implementadas com base em dados espaciais, topologicamente relacionados, que propiciam a entrada, manipulação, visualização, modelagem, análise e recuperação de um grande volume de dados nos formatos raster e vetor possibilitando ainda, a manipulação e processamento de imagens de satélite e radar.

Muito importante, em um software desenvolvido para SIG são as ferramentas de modelagem. Assim, é fundamental que esses softwares possuam ferramentas que possibilitem a leitura e exportação de arquivos digitais com os mais diversos formatos, geração de modelos digitais de terreno, álgebra de mapas, conversões de sistemas cartográficos de arquivos raster ou vetor, edição de vetores, conversão de arquivos *raster* para extensões diversas como, por exemplo, a conversão de imagens com extensão Tiff para .GRD, georreferenciamento e registro de imagens *raster*, tratamento de imagens e, módulos para cálculos estatísticos. A maioria dos softwares hoje existentes possui essas ferramentas sendo que, alguns disponibilizam essas ferramentas em módulo único (como o PCI Geomática) enquanto outros fornecem pacotes com extensões que devem ser adquiridas separadamente (como o ArcMap).

O SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) distribuído pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais) merece destaque dentre os softwares de SIG, pois, Além do módulo SIG, também tem seus pacotes de extensões IMPIMA (para leitura e conversão de imagens) e SCARTA (para edição dos mapas gerados no SIG), distribuído gratuitamente através do site <http://www.dpi.inpe.br/spring/>.

Quanto aos dados espaciais, Silva (1999), usa a seguinte definição “são elementos definidos pelas variáveis  $x$ ,  $y$  e  $z$ , possuem localização no espaço e estão relacionados a determinados sistemas de coordenadas, como por exemplo, a projeção de Mercator, Longitude – Latitude, e que a eles podem estar associadas infinitas características ou atributos”.



Outro fator importante é que os SIGs permitem a alteração, a qualquer momento necessário, das variáveis envolvidas no estudo, possibilitando sua rápida e eficiente atualização, a luz de novos dados coletados ou reinterpretados.

Os bancos de dados, que dão suporte a todas as informações a serem trabalhadas pelo SIG, são formados por dados georreferenciados com unidades e elementos organizados no formato de tabelas de atributos (banco de dados relacionais), que permitem através da automatização dos critérios de análise e classificação, a associação entre os diferentes produtos gerados. É importante citar o fato de que a qualidade do produto gerado por um SIG, esta diretamente ligada à qualidade dos dados disponíveis e armazenado nos bancos de dados utilizados.

A geração do banco de dados deve levar em conta dois conceitos básicos que, segundo Leroi (1996), são:

.As informações devem ter a mesma escala de trabalho e sistema de projeção cartográfica e;

.Os dados precisam ser organizados na forma de camadas monotemáticas (layers), contendo características homogêneas.

Além disso, na seleção dos dados utilizados é preciso que cada um deles seja avaliado com base na escala de trabalho e, na confiabilidade da localização.

## CAPITULO III: CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

### 3.1 Caracterização Político-Administrativa

A Região Metropolitana do Recife – RMR, situa-se numa faixa de 80 quilômetros de comprimento ao longo da costa do Estado de Pernambuco no extremo nordeste do Brasil (Figura1). Em termos de área, a RMR tem 2768 km<sup>2</sup>, o que equivale a 2,82% da área total do estado.

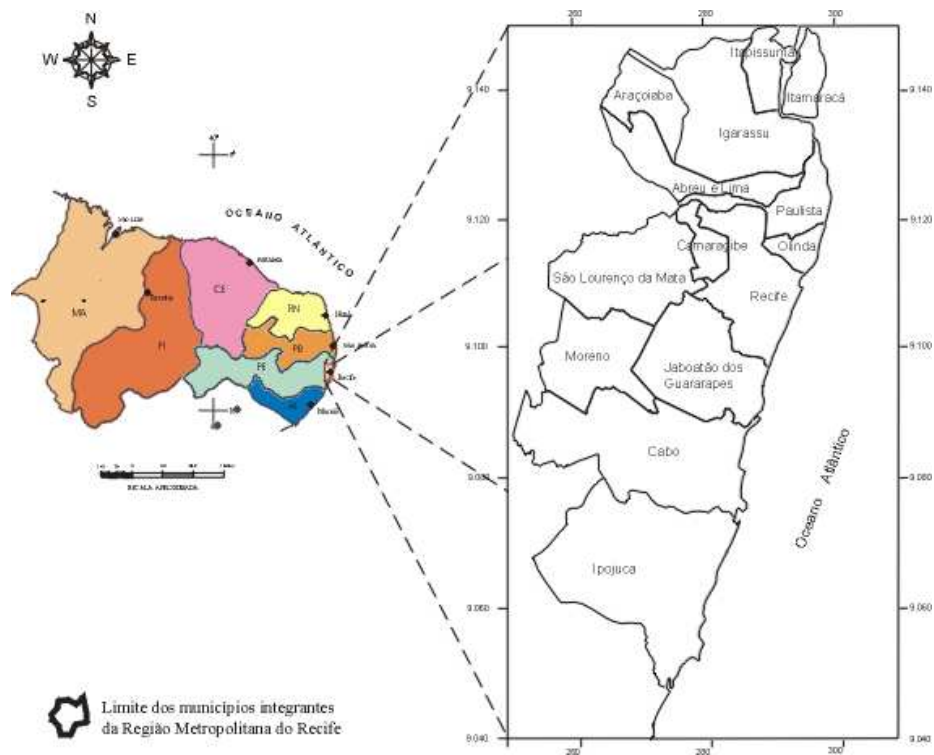


Figura 3.1: Mapa de Localização da Região Metropolitana do Recife

A Região Metropolitana do Recife-RMR foi criada pela Lei Complementar número 14 de 8 junho de 1973, sendo constituída, originalmente pelos municípios de Recife, Cabo de Santo Agostinho, Igarassu, Itamaracá, Jaboatão dos Guararapes, Moreno, Olinda, Paulista e São Lourenço da Mata.

O objetivo da criação das regiões metropolitanas é facilitar a ordenação e o planejamento do entorno das grandes capitais, intrinsecamente ligados a estas sob o ponto de vista de serviços, comércio, indústrias, infraestrutura etc.

Duas décadas depois (em 1994), a Região Metropolitana do Recife foi redefinida pela lei Estadual número 10/94, cujo objetivo era integrar o planejamento e execução das funções públicas de interesse comum e também instituiu o Sistema Gestor Metropolitano.

O Sistema Gestor Metropolitano tem como objetivo promover a integração e apoiar os agentes responsáveis pelo planejamento, execução e gestão públicos de interesse comum.

Atualmente a RMR é formada por 14 municípios. Esse número é fruto do desmembramento de alguns municípios pré-existentes, caso dos municípios de Abreu e Lima, Araçoiaba, Camaragibe e Itapissuma (desmembrados, respectivamente, dos municípios de Paulista, Igarassu e São Lourenço da Mata) ou, da incorporação de um novo município, como é o caso de Ipojuca.

Na RMR, vivem hoje (segundo censo do IBGE, 2001), 3.350.654 habitantes, o que equivale a aproximadamente 40% da população total de Pernambuco.

### **3.2 Geologia**

A geologia da RMR foi alvo de estudos de vários pesquisadores e, entre os mais recentes podemos citar Lima Filho, Jardim de Sá e o Serviço Geológico do Brasil – CPRM (2003), cuja caracterização geológica será aqui adotada (Figura 2).

A Região Metropolitana do Recife é formada por rochas do embasamento cristalino, representadas pelos complexos Gnáissico–Migmatítico (Pgm), Belém de São Francisco (Mbf) e Vertentes (Mve). Por corpos granitóides diversos ( $M\gamma, N\gamma$ ), por rochas sedimentares formadoras das bacias sedimentares costeiras Paraíba–Pernambuco e do Cabo e por coberturas sedimentares inconsolidadas de idades neógena à recente (Figura 3).

Do ponto de vista tectônico a região esta inserida entre os terrenos Rio Capibaribe ao norte e Pernambuco-Alagoas a sul, separados pelo Lineamento Pernambuco, extensa feição tectônica que corta o estado em sentido leste-oeste.

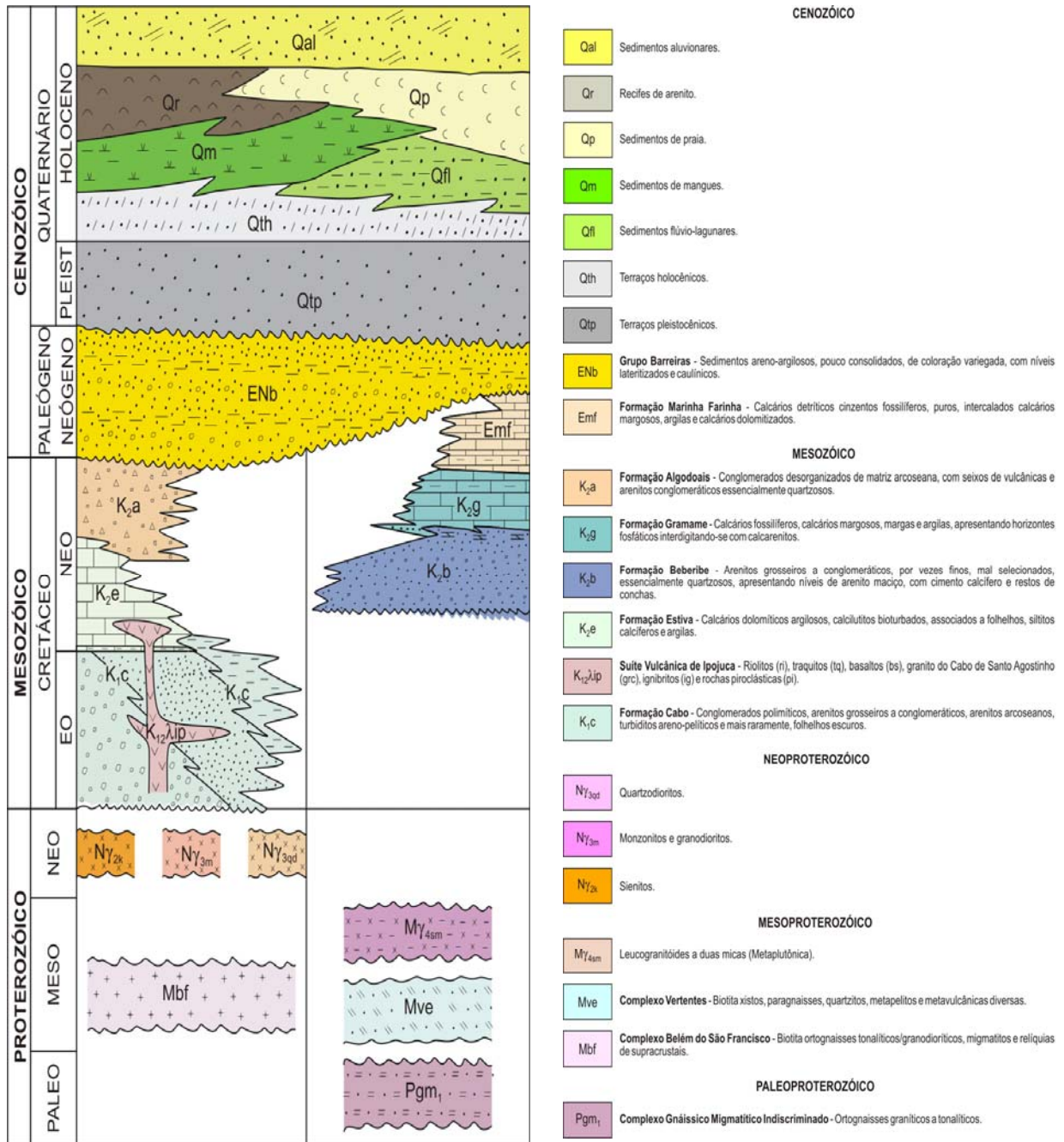


Figura 3.2: Coluna Estratigráfica da Região Metropolitana do Recife (CPRM, 2003).

### 3.2.1 O Embasamento Cristalino

Dois grandes complexos estão representados na RMR, sendo seus limites demarcados pelo Lineamento Pernambuco. A norte encontra-se o Complexo Gnáissico-Migmatítico, de idade paleoproterozóica, composto por ortognaisses de composição granítica a tonalítica, com variações monzoníticas e dioríticas, por vezes migmatizados (Foto 1). Tais rochas, normalmente, apresentam-se bastante intemperizadas, gerando um capeamento de solo residual, solo saprolítico e saprólito, com espessuras que podem chegar a mais de 5 (cinco) metros, com cores amareladas e avermelhadas quando secos.

Em uma pequena porção do extremo noroeste da RMR, próximo a cidade de Araçoiaba, ocorrem às rochas da seqüência metavulcano-sedimentar denominada Complexo Vertentes, de idade mesoproterozóica, constituída por quartzitos, metapelitos e metavulcânicas diversas. Os quartzitos, muito friáveis, dessa unidade foram alvos, no passado, de intensa exploração mineral para utilização do material para construção civil enquanto que, as demais litologias dessa unidade encontram-se encobertas pela vegetação arbórea ou pela cana de açúcar.

Ao sul do Lineamento Pernambuco aflora o Complexo Belém de São Francisco, de idade mesoproterozóica, formado por ortognaisses e migmatitos com restos de rochas supracrustais associados. Essa unidade encontra-se bastante intemperizada, com uma cobertura de solo residual e saprolítico de aproximadamente 6 a 8 metros (Foto 2).

Cortando as rochas do Complexo Belém de São Francisco ocorrem vários corpos, de dimensões batolíticas, constituídos por leucogranitos (M $\gamma$  45m), sienitos (N $\gamma$ 2k), monzonitos e granodioritos (N $\gamma$ 3m) e quartzitos (N $\gamma$ 3qd), cuja cartografia deve-se a Rocha (1990).

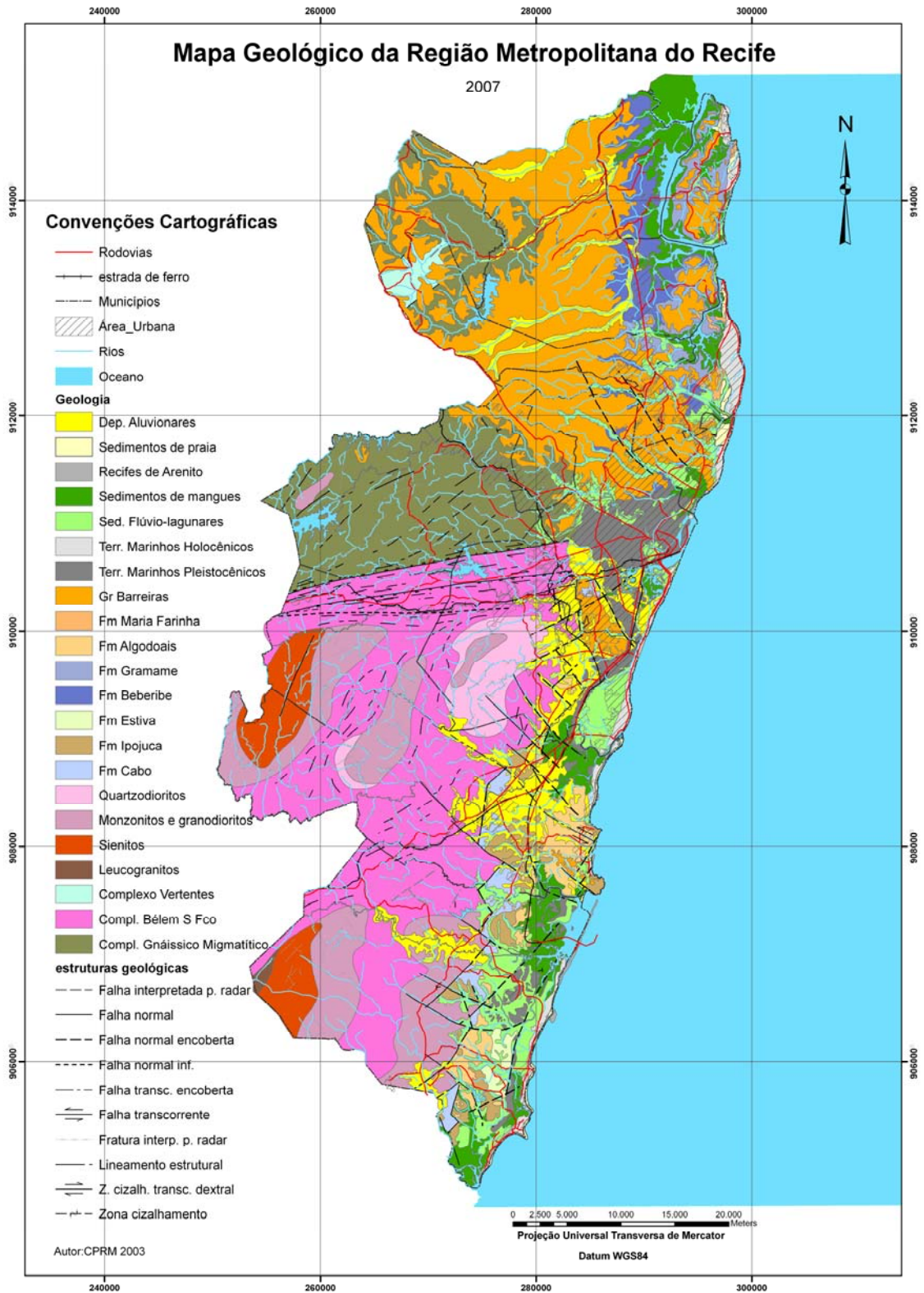


Figura 3.2 : Mapa Geológico Simplificado da Região Metropolitana do Recife, extraído de CPRM (2003).





Foto 3.1: Complexo Gnáissico Migmatítico, corte de estrada 2 km a leste da cidade de Araçoiaba.



Foto 3.2: Migmatito alterado, proximidades da usina Ipojuca.

### 3.2.2 As Bacias Sedimentares

Ocorrem na parte leste da Região Metropolitana do Recife, uma grande extensão de rochas sedimentares que preenchem as bacias sedimentares Pernambuco - Paraíba (ao norte) e a sub-bacia do Cabo (ao sul), sendo separadas pelo Lineamento de Pernambuco (CPRM, 2003). Jardim de Sá (2004) dividiu a bacia Pernambuco-Paraíba pelo lineamento Pernambuco e, denomina de bacia Paraíba o trecho situado ao norte do citado lineamento e de bacia Pernambuco o trecho ao sul deste.

A bacia Pernambuco-Paraíba tem a forma de uma homoclinal de leve mergulho para leste, com estruturas tectônicas de pequeno rejeito e acumulações sedimentares pouco espessas. No

trecho compreendido entre João Pessoa e Recife, o *trend* dos falhamentos possui direção que varia entre NW a NS (Jardim de Sá, 2004.).

Segundo vários autores, a bacia Pernambuco Paraíba foi a última ligação entre a África e a América do Sul durante a abertura do Oceano Atlântico, no período Cretáceo.

De acordo com Mabesoone e Alheiros (1988), essa bacia está dividida em cinco sub-bacias, de sul para norte, que são: Olinda, Alhandra, Miriri, Canguaretama e Natal. Dessas apenas a sub-bacia Olinda esta representada em áreas da RMR (Figura 4).

A estratigrafia da Bacia Pernambuco-Paraiba é a seguinte, da base para o topo: Formação Beberibe (Kb), Formação Gramame (Kg), e Formação Maria Farinha (Emf). Sobreposta a essas unidades se encontra o Formação Barreiras (Enb) e as coberturas sedimentares recentes.

As litologias mais antigas dessa bacia estão representadas pela Formação Beberibe, que é composta por uma seqüência basal mais arenosa, de origem continental (leques aluviais costeiros), onde estão representados arenitos de granulação variada, com intercalações de siltitos e folhelhos.

Na sua parte superior a Formação Beberibe esta representada por uma seqüência arenosa com cimento carbonático, de origem marinha, bastante fossilífera. Sua exposição na RMR é bastante restrita, entretanto, por ser essa unidade o maior reservatório de água subterrânea da RMR (aquífero Beberibe), que abastece uma grande população, deve ser protegido de possíveis agentes contaminantes.



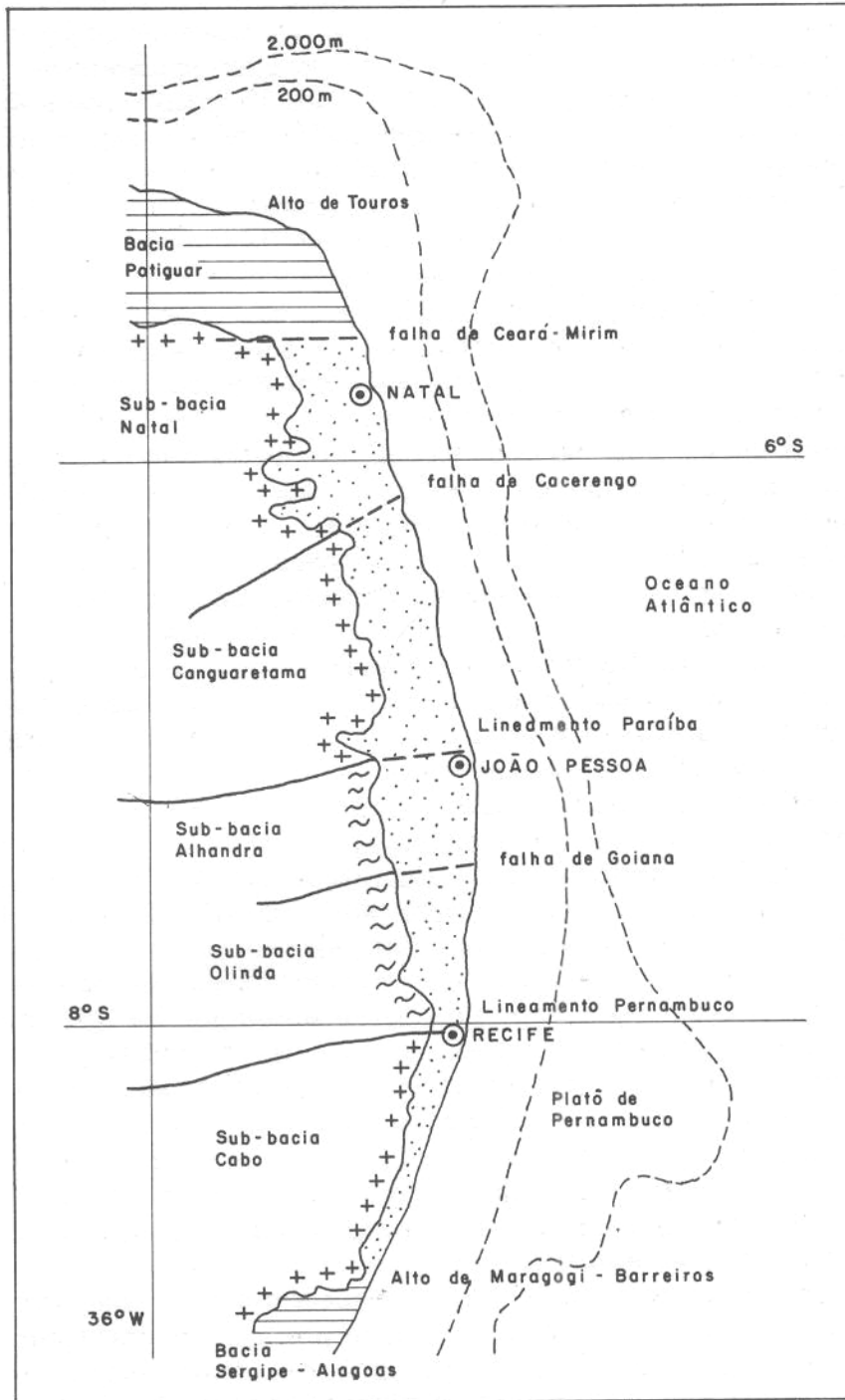


Figura 3.4: Divisão estrutural da Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba (Extraído de Alheiros, 1988).

Sobreposta à Formação Beberibe, encontra-se uma espessa seqüência carbonática, depositada em ambientes marinhos que vão desde o litorâneo até o marinho relativamente profundo, denominada de Formação Gramame. Esta unidade esta composta por calcarenitos, calcários terrosos-siliciclásticos e calcilutitos margosos. A idade desta unidade é neocretácea e, seus afloramentos na RMR estão localizados próximos à linha de costa, nos municípios de Paulista, Igarassú e Itapissuma.

A partir do Período Neógeno (Paleoceno ao Eoceno), com a continuidade da sedimentação carbonática (de caráter marinho regressivo), depositaram-se calcários nodulares detríticos e calcilutitos, com espessas intercalações de folhelhos escuros e margas, agrupados sob a denominação de Formação Maria Farinha.

Do ponto de vista econômico, concentram-se nas Formações Beberibe e Gramame, importantes depósitos de fosfato (explotados até a exaustão na RMR) e, nas Formações Gramame e Maria Farinha, diversas pedreiras de rochas carbonáticas.

A sul do Lineamento Pernambuco, localiza-se a sub-bacia do Cabo (CPRM, 2003.), composta por rochas siliciclásticas, carbonáticas e vulcânicas, de idades que se estendem do Aptiano ao Neógeno.

Os primeiros sedimentos depositados nesta bacia, Aptiano-Albiano, são os da Formação Cabo (Kc), um conjunto de rochas siliciclásticas, de origem continental, formada por arenitos, arcóseos, siltitos, argilitos e conglomerados polimíticos de matriz arcoseana (Foto 3).

A seguir depositam-se na bacia os sedimentos carbonáticos da Formação Estiva (Ke), de idade Neocretácea, constituídos por calcários dolomíticos argilosos e calcilutitos, associados à folhelhos, siltitos calcíferos e argilas.

Cortando os sedimentos da Formação Cabo e Estiva, ocorrem as rochas vulcânicas da suíte magmática Ipojuca (Klip). As rochas desta unidade estão representadas por riólitos, basaltos, ignimbritos e pelo álcali-feldspato granito, denominado granito do Cabo (Foto 4), cuja idade, segundo Nascimento (2004) é de cerca de 102 m.a. Os tipos litológicos de composição mais básica encontram-se bastante alterados, com espesso capeamento de solo, conforme pode ser visto na área do loteamento Cidade Garapu, no município do Cabo de Santo Agostinho.



Foto 3.3: Conglomerados da Formação Cabo, estrada BR-101, município de Cabo de Santo Agostinho.

Quanto ao corpo granítico denominado de Granito do Cabo, este se situa no extremo leste do município homônimo. Possui uma cobertura de solo de alteração com granulometria silto arenosa, onde os processos erosivos, possivelmente devido ao intenso desmatamento, são muito atuantes. Nesta área são comuns as ravinas, voçorocas e erosões laminares, que dão um aspecto desolador ao local.



Foto 3.4: Estruturas vulcânicas em área de afloramento do Granito do Cabo na praia do Xaréu no Município do Cabo de Santo Agostinho.

O topo da sedimentação dessa bacia está representado pela Formação Algodoads, de idade cretácea superior (turoniana) até paleógena. Esta formação encontra-se informalmente dividida em duas unidades: Água Fria (basal) e Tiriri. A primeira é constituída por conglomerados de

matriz arcoseana, com seixos de vulcânicas, arenitos conglomeráticos maciços e arcósios de granulação média a grossa. A unidade Tiriri esta composta por um arenito conglomerático esbranquiçado, quartzoso.

### 3.2.3 Formação Barreiras

Recobrimdo o embasamento cristalino e as unidades sedimentares cretáceas, encontra-se a Formação Barreiras (segundo Lima Filho, 2003). Trata-se de uma unidade de idade paleógena-neógena ou neógena-quadernária, cuja composição caracteriza-se por depósitos de areias grossas, intercaladas por estratos rítmicos de areia fina e/ou argila, que por suas próprias características granulométricas e mineralógicas são bastante friáveis e facilmente erodíveis (Foto 5). Alie-se a isto a elevada declividade das bordas dos tabuleiros, forma morfológica típica da ocorrência dessa unidade.

Sua área de ocorrência concentra-se basicamente ao norte do Lineamento Pernambuco (na RMR), com ocorrências esporádicas a sul do Recife e na parte sul da RMR.

Grande parte dos deslizamentos e erosões que evoluem para voçorocamentos, na RMR, registra-se em áreas ocupadas por esta unidade geológica.



Foto 3.5: Afloramento de sedimentos do Formação Barreiras no município de Camaragibe

### 3.2.4 As Unidades Quaternárias

Todas as unidades geológicas anteriormente descritas estão recobertas na área litorânea por sedimentos recentes, de idade quadernária. Esses sedimentos estão representados por Terraços Marinhas Pleistocênicos (Qtp), Terraços Marinhas Holocênicos (Qth), Sedimentos Flúvio

Lagunares (Qdfl), Recifes de Arenito (Qr), sedimentos de Praia (Qp), sedimentos Aluvionares (Qal) e pelos sedimentos de Mangue (Qm).

Os Terraços Marinheiros Pleistocênicos são formados por areias quartzosas de granulação fina a média. Os Terraços Holocênicos são constituídos por materiais similares aos Terraços Pleistocênicos, apresentando como diferenças básicas a granulometria mais fina das areias e a presença de restos de conchas (Foto6).

Nestas unidades estão assentadas aquelas construções que se apresentam mais seguras quanto a possíveis inundações.



Foto 3.6: Terraço Marinho Holocênico em Jaboatão dos Guararapes.

Os sedimentos flúvio lagunares ocupam uma grande área da planície da RMR. São constituídos por areias finas, siltes, argilas, vasas diatomáceas e sedimentos turfosos. Devido a suas características de relevo, as áreas ocupadas por essa unidade são densamente ocupadas com edificações. Aqui as edificações de maior porte necessitam de minucioso estudo geotécnico do subsolo já que, são freqüentes as presenças de camadas de argilas orgânicas e turfas, que podem comprometer as estruturas dessas edificações e outras obras de engenharia, como avenidas, por exemplo.

Junto com os sedimentos flúvio-lagunares, os sedimentos de mangues também apresentam ampla distribuição na Planície Costeira da RMR, sendo formado por argilas, siltes, areias finas, carapaças de diatomáceas, espículas de espongiários, restos orgânicos e conchas.

Nas áreas de ocorrência dessa unidade, é muito comum a presença de camadas de argila orgânica, de grande espessura, como a registrada por uma sondagem à percussão realizada em terreno da sede do Serviço Geológico do Brasil-CPRM (em Recife), que atingiu uma espessura de 9 metros com baixíssimos valores de SPT. Estas características tornam necessária uma detalhada pesquisa geotécnica do subsolo, antes do início de qualquer obra de engenharia.

Os depósitos aluvionares distribuem-se ao longo dos canais e nas planícies de inundação dos grandes rios que cortam a RMR. São depósitos formados por materiais arenosos e areno-argilosos. Embora as áreas de ocorrência desses materiais sejam locais extremamente propensos a inundações periódicas, a ocupação urbana nesses locais é bastante densa.

Por fim, encontram-se ao longo da costa da RMR, recifes de arenito (Foto7), formados por grãos de quartzo e fragmentos de conchas, aglutinados por cimento silicoso ou ferruginoso e, ao lado desses corpos rochosos encontram-se os depósitos de praia, recentes, constituídos por areias quartzosas com presença de fragmentos de conchas.



Foto 3.7: Recifes de arenito em Porto de Galinhas, Ipojuca.

Embora não possuam dimensões para representação nesta escala de trabalho, devem ser citados os depósitos de colúvios (Foto 8), constituídos por materiais argilo siltosos e seixos de quartzo e rocha centimétricos, com registro em pequenas áreas nos sopés dos morros cristalinos.





Foto 3.8: Depósito de colúvio no município de Jaboatão dos Guararapes

### 3.3 Clima

De acordo com Moreira (in CPRM, 2003), a RMR possui um clima litorâneo úmido, com forte influência de massas tropicais úmidas. A temperatura média anual é de 25,5 °C, com média anual máxima de 29,1<sup>o</sup> C e média anual mínima de 21,9 °C.

Tabela 3.1: Variação mensal das médias da temperatura do ar na RMR  
Fonte: Moreira (in: CPRM, 2003).

| Mês | Média das Máximas (°C) | Média das Mínimas (°C) | Média Comp. (°C) |
|-----|------------------------|------------------------|------------------|
| Jan | 30,3                   | 22,5                   | 26,6             |
| Fev | 30,2                   | 22,6                   | 26,6             |
| Mar | 30,1                   | 22,6                   | 26,4             |
| Abr | 29,7                   | 22,6                   | 26,0             |
| Mai | 28,8                   | 22,1                   | 25,2             |
| Jun | 28,0                   | 21,6                   | 24,5             |
| Jul | 27,3                   | 20,9                   | 23,9             |
| Ago | 27,6                   | 20,6                   | 24,0             |
| Set | 28,1                   | 21,1                   | 24,6             |
| Out | 29,1                   | 21,5                   | 25,5             |
| Nov | 29,9                   | 21,8                   | 26,1             |
| Dez | 30,2                   | 22,3                   | 26,4             |
| Ano | 29,1                   | 21,9                   | 25,5             |

A média mensal da umidade do ar (valores da cidade do Recife) oscila entre 74 e 86 %, com média anual de 80%.

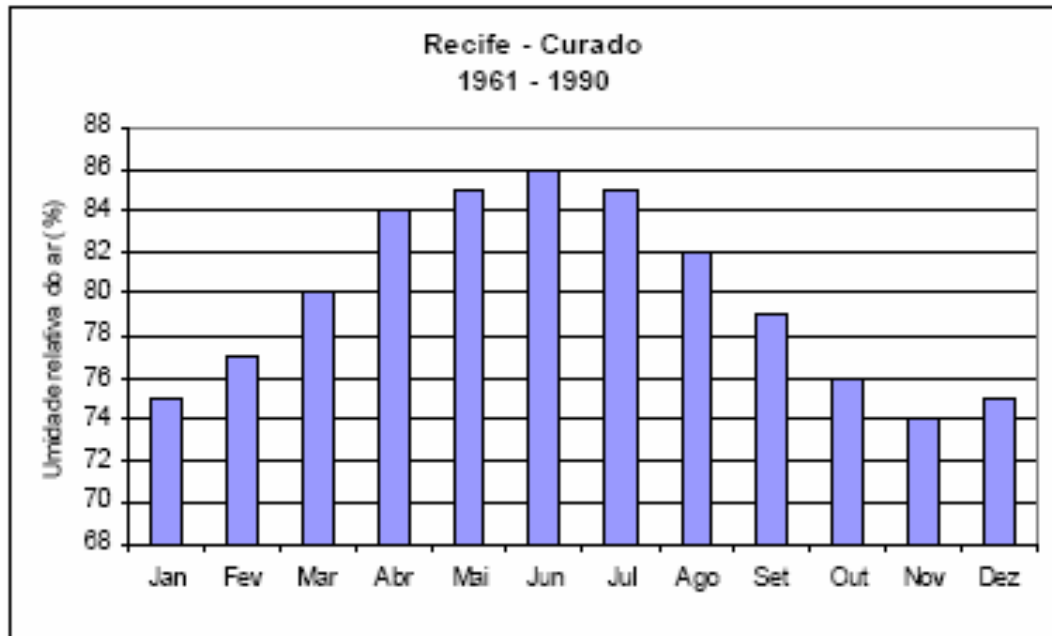


Figura 5: Variação mensal média da umidade relativa do ar (Estação Curado)  
Fonte: Moreira (In: CPRM, 2003).

A precipitação média anual varia desde 2200 mm, nas áreas mais próximas ao litoral, até 1200 mm na parte mais à oeste do município de São Lourenço da Mata. As variações inter anuais oscilam entre 1200 a 3500 mm no litoral e entre 500 e 2000 mm nas áreas mais afastadas deste. O trimestre mais chuvoso vai de maio a julho, concentrando 47% da precipitação. O trimestre mais seco vai de outubro à dezembro e concentra apenas 7% da precipitação.



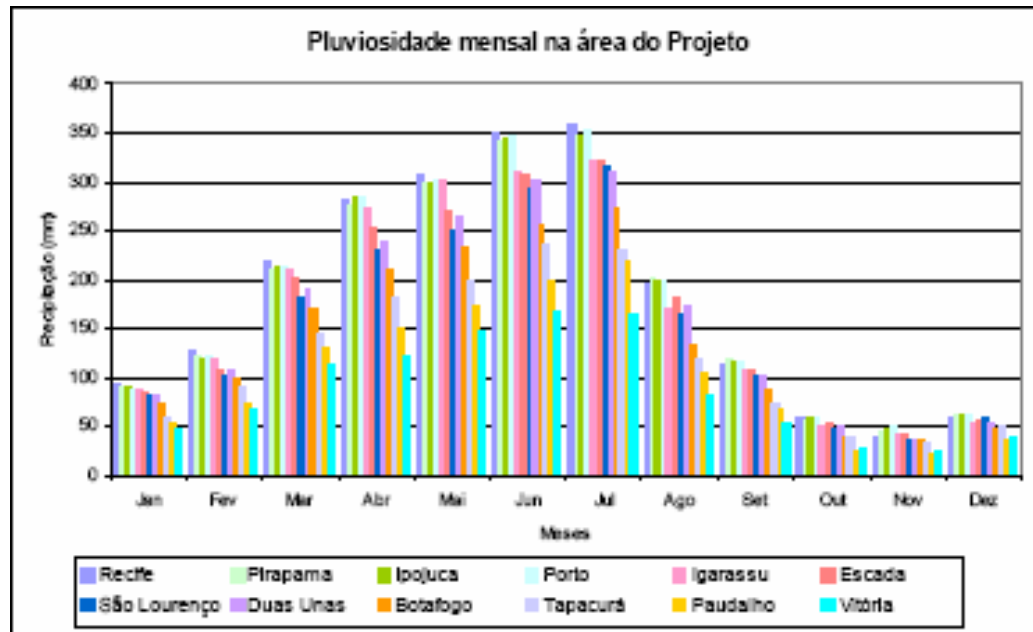


Figura 6: Hietogramas que mostram as variações no regime de chuvas na RMR. Dados de médias mensais e de totais anuais obtidos a partir de 12 estações localizadas dentro e nos arredores da RMR.

Fonte: Moreira (in CPRM, 2003).

### 3.4 Hidrografia

A Região Metropolitana do Recife-RMR, esta inserida na região hidrográfica classificada como sub-bacia 39, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica-ANEEL (Moreira in CPRM, 2003).

Os rios e cursos de água que cortam a RMR são perenes, com altos índices de escoamento (vazão), durante o período chuvoso podendo, entretanto, na área noroeste, secar quando da ocorrência de estiagem prolongada. As principais bacias hidrográficas representadas na região são : Ipojuca, Botafogo, Pirapama, Jaboatão e Capibaribe (Figura 7).

O rio Capibaribe percorre 33,2 quilômetros dentro da RMR e recebe como afluentes os rios Goitá, Tapacurá e Besouro, sendo um dos principais rios da região. Barrando o curso desse rio encontram-se várias barragens, construídas para controle das suas cheias e para o abastecimento de água. Tais barramentos são responsáveis pela diminuição da vazão e da carga de sedimentos transportados por esse rio e seus afluentes.

Alem do Capibaribe outros rios da região também se encontram com suas vazões diminuídas devido à construção de barragens (Tabela 2) que retendo a maior parte dos

sedimentos carreados pelos rios e que antes chegavam ao mar, causam um desequilíbrio do sistema erosão x deposição ao longo da costa.

Deve-se ainda destacar a existência de várias lagoas na região, sendo a maior delas a lagoa Olho D'Água, situada no município de Jaboatão dos Guararapes. As outras lagoas são a lagoa do Araçá, no município do Recife e, as lagoas Mingú e Maré no município de Ipojuca.

Tabela 3.2: Principais barragens da RMR.

| Nome da barragem | Curso d'água      | Capacidade (m <sup>3</sup> ) |
|------------------|-------------------|------------------------------|
| Tapacurá         | rio Tapacurá      | 94.200.000                   |
| Botafogo         | rio Catuca        | 27.600.000                   |
| Duas Unas        | rio Duas Unas     | 11.570.000                   |
| Gurjaú           | rio Gurjaú        | 3.200.000                    |
| Goitá            | rio Goitá         | 52.565.000                   |
| Utinga           | rio Utinga        | 10.426.000                   |
| Bitá             | rio Bitá          | 2.770.000                    |
| Várzea do Una    | rio Várzea do Una | 11.568.000                   |

Fonte: Moreira (in CPRM 2003).

Outros rios de dimensões mais modestas formam bacias menores que cortam a RMR e estão agrupados, sob a denominação de pequenas bacias litorâneas sem denominação (GL-1).



Figura 7: Principais Bacias Hidrográficas da RMR. Extraído de Moreira (in CPRM, 2003).

### 3.5 Relevo

O relevo da RMR (figura 8) está representado por quatro compartimentos geomorfológicos bem definidos, subdividido em oito unidades de relevo. São eles: a Planície, os Tabuleiros Costeiros, as Colinas e os Morros.

A planície é formada pelas unidades Planície Costeira e Planície Flúvio Lacustre. Estas unidades se estendem por todo o litoral da RMR, sendo interrompida apenas pelas Colinas no município do Cabo de Santo Agostinho. Dentro da faixa da Planície Costeira, podem ser caracterizados dois patamares distintos, um nível mais alto (8 até 10 metros), formado por terraços marinhos de idade pleistocênica e, um nível mais baixo formado pelos terraços marinhos de idade holocênica que atinge a cota de 4 metros. Esses níveis podem ser facilmente vistos nas imagens do SRTM. A Planície – Lagunar caracteriza-se por cotas que variam desde o nível do mar até os 8 metros.

Os Tabuleiros estão situados, basicamente, ao norte da RMR, sendo formados por sedimentos da Formação Barreiras, com cotas médias de 30 até 100 metros. Encontram-se bastante dissecados, formando morros alongados (em alguns casos isolados e mais arredondados), com vales de fundo chato. Na parte mais a oeste da RMR, esses tabuleiros podem atingir cotas superiores aos 200 metros (sendo constituídos nesse caso por rochas cristalinas), recebendo a denominação local de chãs.

Na parte sudeste da RMR encontra-se o Domínio das Colinas Amplas e Suaves, constituídas por sedimentos (elevações mais baixas e de formas arredondadas) e por rochas vulcânicas e sub vulcânicas (elevações maiores e de forma mais alongada). O promontório formado pelo granito do Cabo é a expressão mais marcante dessa unidade.

Ao oeste e sudoeste da RMR, encontra-se o Domínio das Colinas Dissecadas e Morros Baixos, um conjunto de formas mais elevadas, formados por rochas cristalinas, cujas cotas se elevam desde os 30 até mais de 300 metros, aumentando sua altitude de leste para oeste. No extremo oeste da RMR encontra-se o Domínio dos Morros e Serras Baixas, constituído por rochas cristalinas que formam serras como a do Urucu, localizada no extremo oeste do município do Cabo de Santo Agostinho, com cota de 424 metros. Nesse conjunto do relevo, os morros mais baixos apresentam forma arredondada enquanto, os mais altos (formadores das serras), possuem formas alongadas. Ainda nesse conjunto, é marcante o controle estrutural dos rios e do relevo, principalmente na parte oeste da RMR.

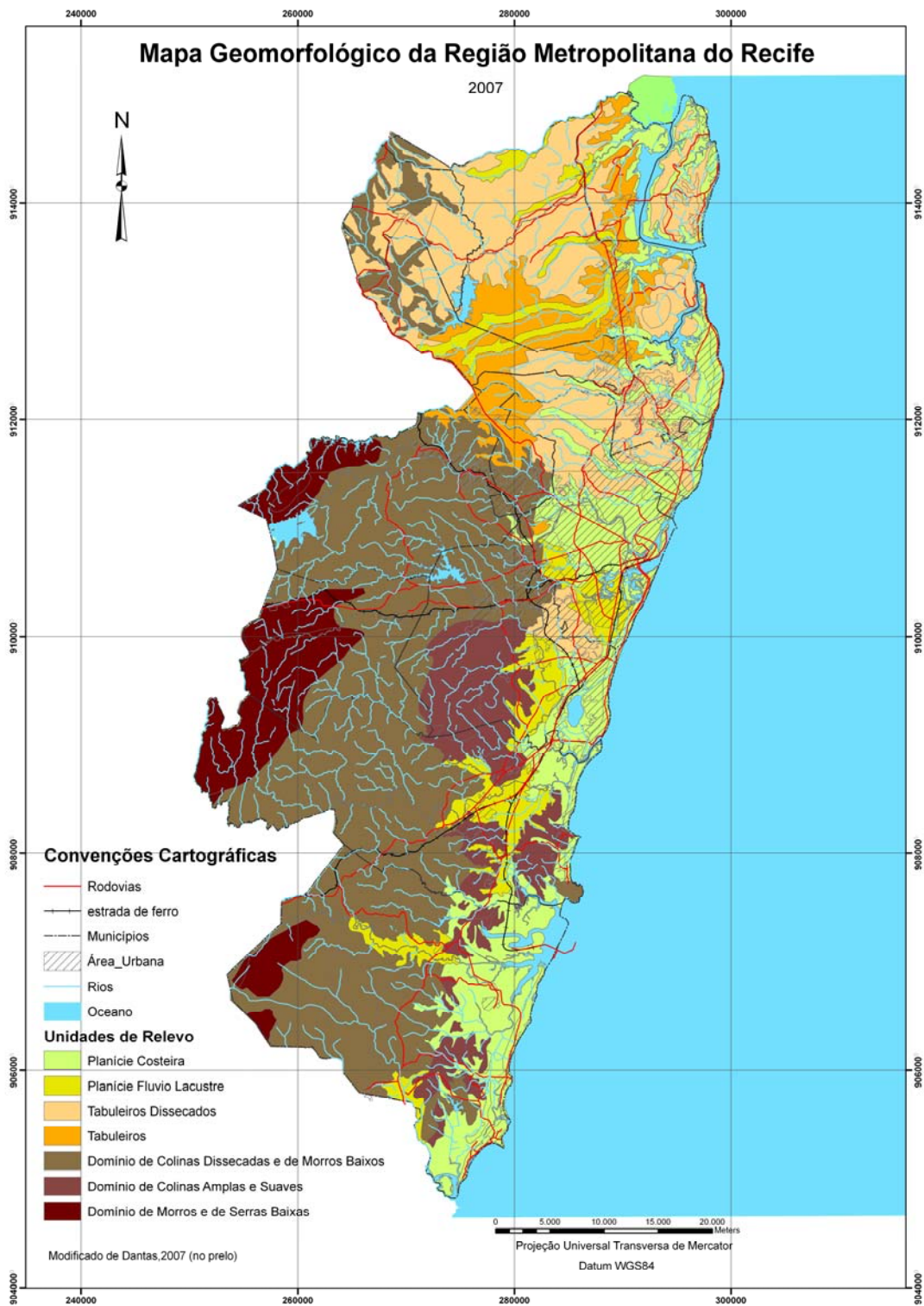


Figura 8: Mapa geomorfológico simplificado da RMR

Tabela 3.3: Divisões do relevo na RMR.

| <b>COMPARTIMENTO DE RELEVO</b> | <b>UNIDADE DE RELEVO</b>           |
|--------------------------------|------------------------------------|
| <b>Planície</b>                | Planície Costeira                  |
|                                | Planície Flúvio Lacustre           |
| <b>Tabuleiros</b>              | Tabuleiros                         |
|                                | Tabuleiros Dissecados              |
| <b>Colinas</b>                 | Colinas Dissecadas e Morros Baixos |
|                                | Colinas Amplas e Suaves            |
| <b>Morros</b>                  | Morros e Serras Baixas             |

### 3.6 Solos

Ocorrem na RMR as seguintes classes de solo (figura 9), classificadas de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, Shinzato (in CPRM, 2003):

. Argissolos- Esta classe é composta por solos minerais não hidromórficos, constituídos por argilas de baixa atividade. Em geral são profundos, bem drenados e com seqüência de horizontes A, Bt, C ou, A, E, Bt e C.sua distribuição abrange, principalmente as áreas mais elevadas à oeste da RMR, recobrando as unidades geológicas cristalinas e os sedimentos das Formações Barreiras e Cabo.. Latossolos- Tratam-se de solos minerais, não hidromórficos,com horizonte B latossólico.Encontram-se em elevado estágio de intemperização sendo bastante evoluídos, profundos (espessura > 2 metros), com permeabilidade elevada, variando de bem a acentuadamente drenados. Possuem seqüência de horizontes do tipo A, Bw, C, distribuindo-se sobre as unidades cristalinas e sobre a Formação Barreiras em áreas concentradas a sul, norte e centro da RMR.

. Cambissolos- Compreende um conjunto de solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B incipiente subjacente ao horizonte A . São pouco evoluídos, com características bastante variáveis. Entretanto, geralmente são pouco profundos a rasos, com teores de silte relativamente elevados.

. Espodossolos- Esta classe é composta por solos minerais com horizonte B espódico sotoposto pelos horizontes E ou pelo horizonte A. Origina-se a partir dos sedimentos arenosos de origem marinha que formam os cordões litorâneos; em geral são hidromórficos e de textura arenosa.

. Gleissolos Háplicos- Tratam-se de solos relativamente recentes, pouco evoluídos tendo-se originado a partir de sedimentos quaternários.São muito comuns nas várzeas dos rios da RMR.

. Neossolos- Esta classe compreende solos minerais pouco desenvolvidos e caracterizados pela ausência do horizonte B diagnóstico. São solos rasos, muitas vezes assentados diretamente sobre a rocha e associados a afloramentos de rocha. Podem se desenvolver também a partir de depósitos fluviais recentes (quando apresentam estratificação de camadas sem relação genética entre si) ou, de cordões arenosos costeiros, em associação com os espodossolos.

. Nitossolos- Esta classe é composta por solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B nítico com argilas de atividade baixa sobre o horizonte A . Tratam-se de solos profundos, em geral, predominantemente caulínicos, geralmente bem drenados, com textura média/argilosa ou argilosa a muito argilosa.. Solos de Mangue- São solos hidromórficos, de textura indiscriminada geralmente profundos.

Associadas a classe dos gleissolos háplicos, com expressão muito reduzida, podem se encontradas as classes dos planossolos e dos luvisolos.

Uma caracterização dos diversos tipos de solo que compõem cada classe de solo na RMR pode ser encontrada em Shinzato (in CPRM, 2003).

### **3.7 Cobertura Vegetal**

Atualmente, resta muito pouco da vegetação original que recobria a RMR no começo do século XX. Além do pouco que restou da Mata Atlântica, podem ser encontrados restos da vegetação nativa em estágio de regeneração (capoeira, capoeirinha), além de vegetação higrófila e vegetação de mangue (FIDEM, 1979).

Hoje a cobertura vegetal da RMR é representada fundamentalmente por canaviais. As culturas de subsistência (milho, feijão, banana etc.) também estão presentes, em áreas menores, freqüentemente isoladas em meio aos canaviais. Além da cana-de-açúcar e das culturas de subsistência, podem ser encontrados ainda coqueirais, cultivados principalmente nas áreas mais próximas ao litoral.



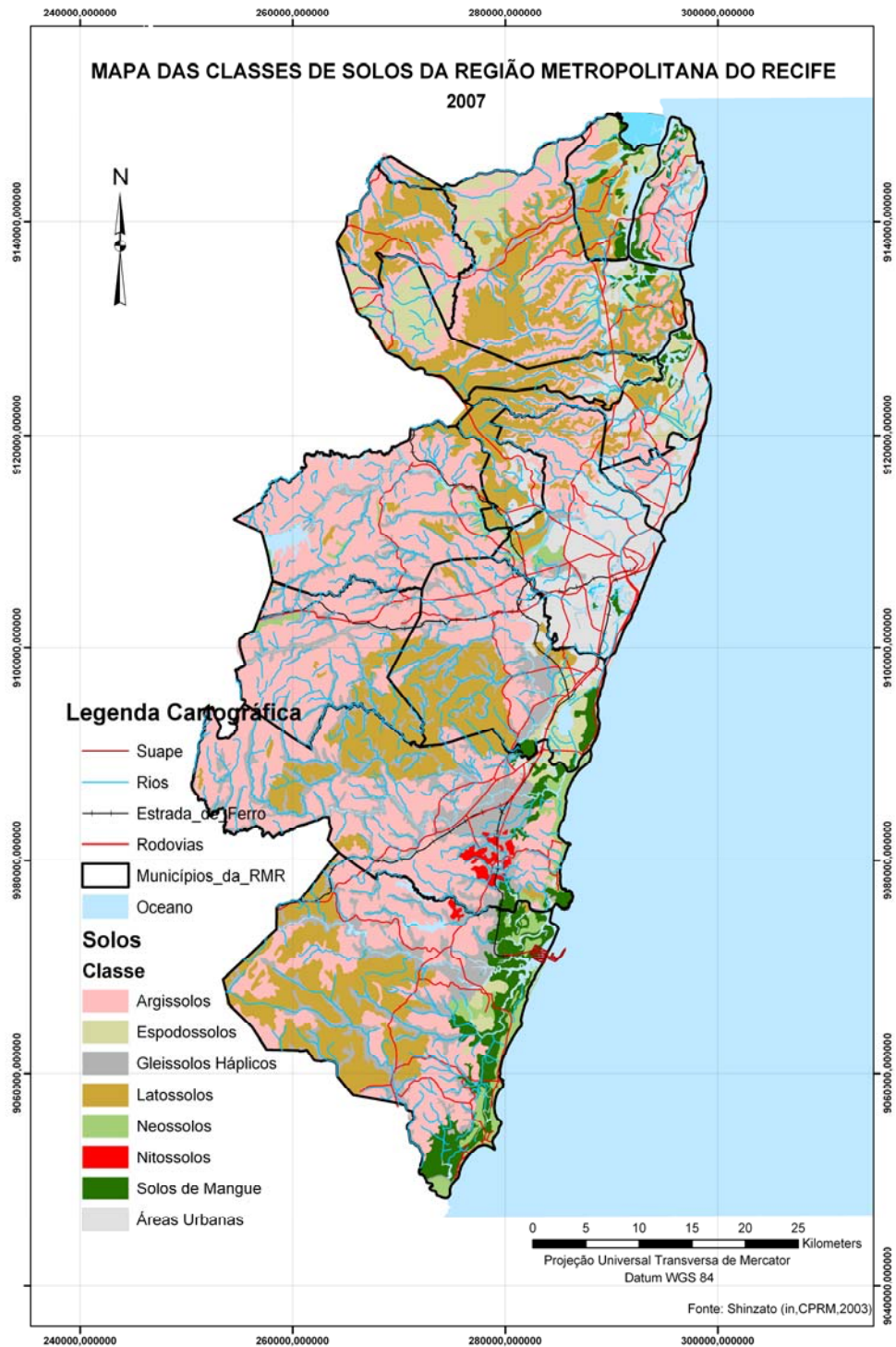


Figura 9: Mapa das classes de solo da Região Metropolitana do Recife



## **CAPITULO IV - Deslizamentos na Região Metropolitana do Recife**

### **4.1 Breve histórico**

A ocupação dos morros da Região Metropolitana do Recife-RMR é um processo que se desenvolve desde o período colonial e, que se iniciou com a ocupação dos morros de Olinda e Recife. Em Recife essa ocupação se deu em geral pelas populações de baixa renda pois, as áreas com melhores condições de ocupação onde os custos construtivos e a própria localização eram melhores foram logo ocupadas pela população de maior renda. Assim, as áreas que exigiam maior conhecimento técnico e, maiores investimentos para que oferecessem condições de ocupação adequadas, foram deixadas para as camadas mais pobres, que inevitavelmente, sofrem com as inundações e deslizamentos.

### **4.2 Deslizamentos na RMR**

Há muitos anos a RMR sofre com a ocorrência de deslizamentos. Entretanto, esse problema se tornou mais grave a partir da década de 1980 quando foram registradas dezenas de escorregamentos na zona norte da cidade de Recife (no período de 1993 a 1996 foram registrados 757 escorregamentos), que causaram cerca de 50 mortes por ano (Gusmão, 1997). A elevada taxa de ocupação das encostas e a falta de urbanização desses espaços, que em alguns casos ultrapassam a 400 habitantes por hectare, como na cidade do Recife, tornam essas áreas mais suscetíveis aos deslizamentos.

A RMR possui registros de deslizamentos (com ou sem vítimas), com maior concentração de eventos nos municípios de Recife, Olinda, Camaragibe e Abreu e Lima. No caso do município de Olinda, os deslizamentos colocam em risco os patrimônios históricos e artísticos, representados por igrejas e monumentos, localizados em áreas de encostas e topos de colinas onde os movimentos do terreno causam rachaduras e fendas nas construções.

Em toda a área metropolitana do Recife, os fatores decorrentes da forma inadequada de ocupação das encostas, são muito importantes na ocorrência dos deslizamentos, sendo agravados pelos condicionantes naturais (litologia, declividade, forma da encosta etc.). O acúmulo de lixo, cortes inadequados dos taludes e acúmulo do material proveniente desse corte e inexistência de rede de drenagem planejada, são as causas que mais concorrem para instalação de processos erosivos e de movimentos de massa.

No gráfico 4.1 é possível ver o número de vítimas devido aos deslizamentos de terra na RMR e no município de Recife no período de 1984 a 2006. Esses gráficos mostram a gravidade dos problemas causados pelos deslizamentos nesta região.

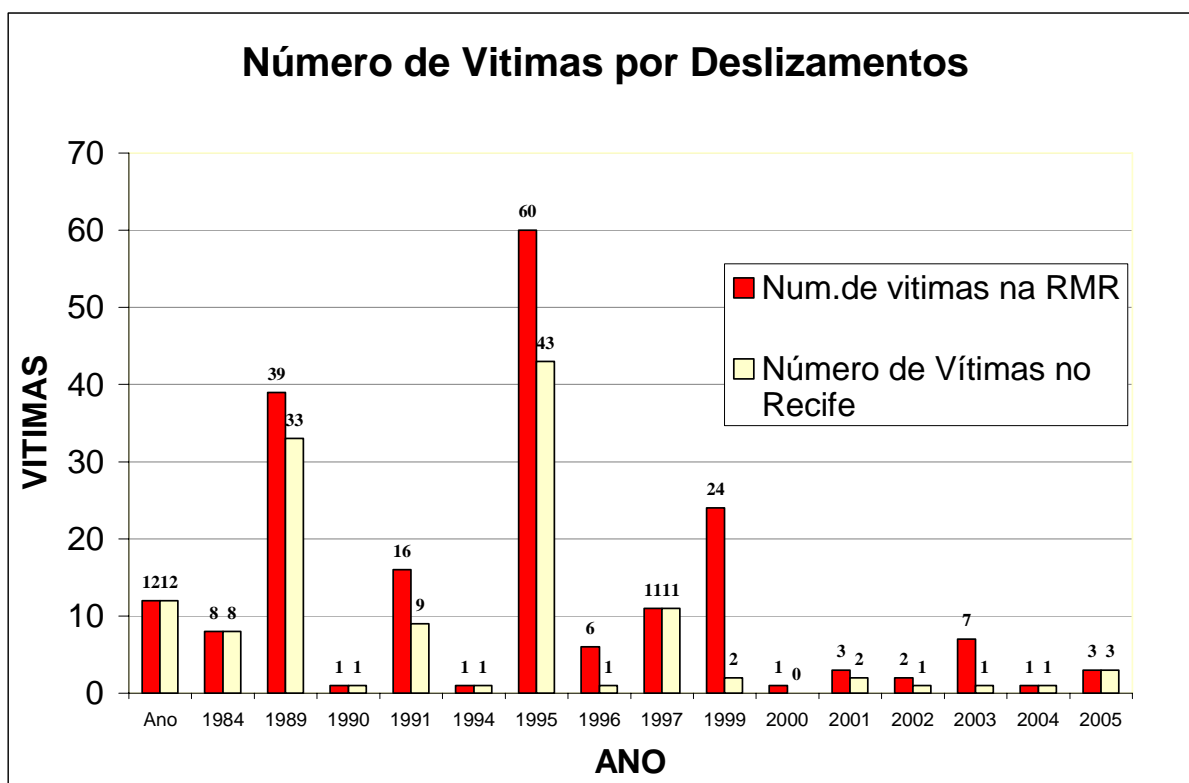


Gráfico 4.1: Número de vítimas por escorregamentos na RMR e no Município do Recife (Fonte: Alheiros, 2004 e notícias de jornais).

As causas e os efeitos dos deslizamentos em uma área são complexos e diversos. É inegável, entretanto, que o uso inadequado e a ocupação desordenada do solo são fatores determinantes na instalação e desenvolvimentos desses fenômenos.

### 4.3 Gerenciamento de Riscos Geológicos na RMR

Na Região Metropolitana do Recife temos dois exemplos importantes no gerenciamento dos problemas relacionados aos acidentes geológicos que são: o Programa Viva o Morro (desenvolvido pela Agência CONDEP/ FIDEM) e o programa Guarda-Chuva (desenvolvido pela prefeitura do município de Recife). Esse programa de gestão de risco tem como base os passos recomendados pela Década Internacional de Redução de Riscos (ISRDN, 2005), para redução e erradicação de riscos:

Mapeamentos de Risco (identificação e hierarquização dos setores de risco, análise qualitativa do risco, proposta de solução estrutural para a redução do risco e lançamento dos dados em bases georeferenciadas).

Medidas Estruturais (obras de engenharia)

Medidas não Estruturais (organização institucional, dimensionamento do corpo técnico, estratégias de médio e longo prazo).

Elaboração de Planos Municipais de Redução de Risco

A implementação desses programas levou a uma efetiva diminuição do número de vítimas e, dos prejuízos econômicos causados pelos deslizamentos de terra a partir de 2001.

O município do Recife dispõe do mapeamento de suas áreas de risco, com permanente monitoramento das mesmas, com banco de dados georreferenciado, constantemente atualizado.

O Comitê Gestor Metropolitano, órgão com representantes de todos os municípios que compõem a RMR, através da gerência do Programa Viva o Morro, acompanha a execução dos Planos Municipais de Redução de Risco (2006) dos 9 (nove) municípios financiados pelo Ministério das Cidades (Olinda, Camaragibe, Recife Jaboatão dos Guararapes, São Lourenço da Mata, Cabo de Santo Agostinho, Ipojuca, Igarassu e Paulista).

#### **4.4 Documentação fotográfica**

Os exemplos de vários deslizamentos podem ser vistos nas fotos abaixo mostram que o problema está presente na maioria dos municípios da RMR. A seguir é apresentada uma seqüência de fotos mostrando alguns deslizamentos ocorridos nos municípios da RMR entre os anos de 1996 e 2004.

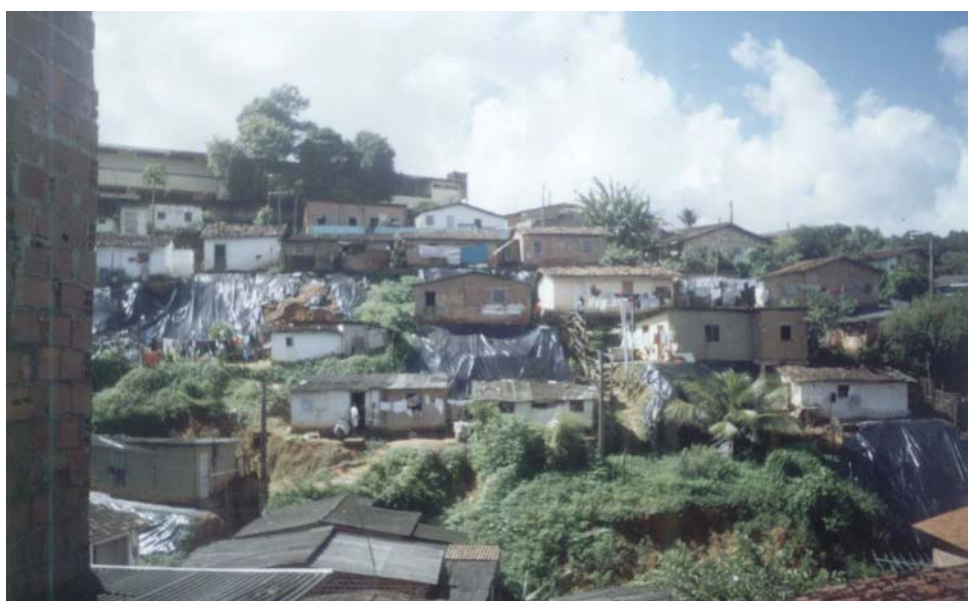


Foto 4.1: Vista do Córrego da Andorinha no município de Camaragibe. Notar as lonas de cor preta que recobrem a encosta para evitar novos deslizamentos



Foto 4.2: Vista de área de risco ao longo da BR-101, próximo à localidade de Cidade Tabajara no Município de Olinda.



Foto 4.3: a) Vista aérea do deslizamento ocorrido no Córrego do Boleiro em 1996. (foto extraída de Alheiros, 1998). b) Situação típica em áreas de risco, corte vertical de talude com construção da moradia na área plana logo à frente do corte (foto: cedida por Alheiros).

## CAPITULO V: MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 Considerações Iniciais

No desenvolvimento deste trabalho utilizou-se como base metodológica a proposta de Libault (in: Bertagnan, 1998), que segue os seguintes passos:

- a- compilatório-coleta e levantamento de dados bibliográficos e de campo;
- b- correlatório-tratamento, armazenamento e recuperação dos dados;
- c- semântico-análise e manipulação dos dados;
- d- normativo-confirmação ou negação das hipóteses.

Assim, seguindo esse conceito metodológico para organização deste trabalho, na construção do mapa de suscetibilidade o primeiro passo foi à realização de um conjunto de mapas básicos, que exigiram para a sua confecção uma série de pesquisas, começando pelo levantamento bibliográfico onde, foram pesquisadas informações sobre:

- Cartografia geotécnica e de risco.
- Caracterização e as definições do tema suscetibilidade
- Desastres geológicos associados a deslizamentos
- Geologia,
- Relevo
- Clima,
- Cobertura vegetal,
- Ocupação do solo,

O ponto de partida da pesquisa bibliográfica foi à tese de Alheiros (1998) e que serve de substrato às pesquisas que se seguem, comparando sua metodologia e resultados a luz das novas ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento hoje disponíveis.

Os mapas básicos gerados (na projeção UTM e Datum WGS84) foram:

Planimétrico (atualizado)

Geológico (compilado)

Geomorfológico

Curvatura horizontal e vertical de encosta

Declividade

Solos (compilado)

Uso do Solo

## 5.2 Sensoriamento Remoto

Após esse levantamento o passo seguinte levou a uma minuciosa análise das imagens de satélite (GEOCOVER, LANDSAT e CBERS) e radar (SRTM e RADARSAT), o que possibilitou:

- Gerar um mapa base planimétrico atualizado
- Atualizar os limites da área urbana e da cobertura vegetal
- Compartimentar o relevo de acordo com suas formas predominantes.
- Aplicar o modelo digital de terreno (base para o mapa de declividade) a partir de imagens SRTM e dados de outras fontes como digitalização das curvas de nível das cartas topográficas da SUDENE na escala de 1:100.000, escolhendo o que melhor se adaptasse ao estudo em foco.

Para geração do mapa final de suscetibilidade a deslizamento foram extraídas informações dos mapas básicos que, posteriormente, foram superpostos, em ambiente SIG, com os pesos de seus atributos similares para o cálculo da influência na suscetibilidade natural a deslizamentos.

### 5.2.1 Tratamentos aplicados às imagens de satélite

As imagens LANDSAT (órbita 214, ponto 65 e 66, com passagens em 4/08/2001 e 29/5/2000) e as imagens CBERS (órbita 145, ponto 108 e 109, com passagem em 7/12/2003) utilizadas, foram processadas no software ENVI 4.0 e, no caso das imagens CBERS, retificadas com base na imagem GEO COVER (S-25-05\_2000).

Os tratamentos aplicados às imagens de satélite nesta fase, foram:

Georreferenciamento (imagens CBERS)

Ampliação de contraste

Composição de bandas RGB e Análise por principais componentes

Classificação Supervisionada

Tendo em vista que foram utilizadas imagens de satélites de diferentes épocas, sensores, definições espaciais, tamanhos de área imageada, datum e projeções cartográficas, procedeu-se a uma uniformização da maior parte dos itens citados, para todas as imagens a serem utilizadas. Dessa forma, as imagens foram registradas com base nas imagens GEOCOVER, utilizando-se o sistema de projeção UTM e o DATUM adotado foi o WGS 84 (World Geodetic System) tendo em vista que, o IBGE já iniciou o projeto de mudança do datum utilizado hoje em seus mapas (SAD69), para o referencial geocêntrico SIRGAS

(Sistema de Referência para as Américas), que coincide com o WGS 84 na escala de 1:100.000 , Correia (2005)

A resolução espacial adotada foi de 30 metros. Entretanto, para compartimentação do relevo utilizou-se uma resolução espacial de 15 metros. Isso foi possível devido ao fato de que a imagem GEOCOVER possui uma resolução de 15 metros e, a imagem LANDSAT com o uso da técnica de fusão com a sua banda pancromática, também pode atingir a resolução espacial de 15 metros. No caso das imagens dos outros sensores utilizados, a técnica de fusão com uma banda pancromática não é possível.

Foi também aplicado um contraste linear em cada banda das imagens utilizadas, com a finalidade de aumentar o contraste original destas, melhorando a visualização dos diversos alvos existentes.

No tratamento das imagens de Satélites e Radar, foram utilizados ainda os softwares ENVI 4.0 e *ArcMap* 9.1. Embora exista uma grande variedade de softwares específicos para uso em SIG e processamento de imagens, foi feita a opção por estes softwares, devido à facilidade de obtenção, utilização e interpretação além de serem bastante conhecidos daqueles profissionais da área, que atuam em órgãos públicos.

### 5.2.2 Precisão dos Dados Fornecidos pelo SRTM

A aquisição dos dados de altimetria foi feita através do método da interferometria, que se baseia na diferença de fase de duas imagens de radar obtidas sobre um mesmo local, o que torna possível obter os valores de elevações ou mudanças no relevo da superfície da terra, com precisão maior que os obtidos por estereoscopia (CCRS, in Barros et al, 2004).

Ainda segundo Barros et al (2004), o uso dos dados do SRTM mostra-se apropriado para trabalhos nas escalas entre 1:50.000 e 1:100.000 (portanto, compatível com a escala de trabalho aqui adotada), conseguindo bons resultados quando comparados a curvas de nível digitalizadas a partir de cartas topográficas na escala de 1:50.000 conforme, pode ser visto na tabela 1, abaixo.

Também, os deslocamentos horizontais entre pontos situados em cartas topográficas e no SRTM são muito baixos e segundo Barros (2004), compatíveis com a escala de 1:100.000.

Segundo o padrão de exatidão cartográfico (PEC), instituído pelo decreto 89.817 de 20 de julho de 1984 e seguido pelo CONCAR (Comissão de Cartografia Nacional), os documentos cartográficos são classificados de acordo com as seguintes características, conforme mostrado na Tabela 3.



Tabela 5.1: Comparação entre as altitudes dos pontos de controle de campo (CPs) e do SRTM. Extraído de Barros et al (2004).

| GCP                 | Altitudes (m)      |          | Diferenças (m) |        |
|---------------------|--------------------|----------|----------------|--------|
|                     | Campo <sup>1</sup> | SRTM     | SRTM - Campo   | Módulo |
| 1                   | 1.160,89           | 1163,00  | 2,11           | 2,11   |
| 2                   | 1.195,363          | 1.205,10 | 9,74           | 9,74   |
| 4                   | 16,81              | 29,90    | 13,09          | 13,09  |
| 6                   | 3,639              | 5,1      | 1,46           | 1,46   |
| 7                   | 4,46               | 3,30     | -1,16          | 1,16   |
| 8                   | 5,956              | 6,5      | 0,54           | 0,54   |
| 9                   | 4,32               | 5,3      | 0,98           | 0,98   |
| 10                  | 4,700              | 13,7     | 9,00           | 9,00   |
| 11                  | 1.353,37           | 1363,0   | 9,63           | 9,63   |
| 12                  | 1.025,787          | 1.022,1  | -3,69          | 3,69   |
| 13                  | 939,84             | 940,9    | 1,06           | 1,06   |
| 14                  | 1.070,884          | 1.063,60 | -7,28          | 7,28   |
| 15                  | 1.047,15           | 1043,3   | -3,85          | 3,85   |
| 20                  | 1.100,073          | 1.096,50 | -3,57          | 3,57   |
| Mínimo              | 3,64               | 3,30     | -7,28          | 0,54   |
| Máximo              | 1.353,37           | 1.363,00 | 13,09          | 13,09  |
| Média               |                    |          | 2,00           | 4,80   |
| Baixos <sup>2</sup> |                    |          | 3,99           | 4,37   |
| Altos <sup>3</sup>  |                    |          | 0,52           | 5,12   |

Tabela 5.2: Comparação entre o afastamento horizontal de pontos obtidos de carta topográfica e do SRTM, em relação aos pontos de controle de campo (CP), posicionados por GPS. Extraído de Barros et al (2004).

| CP     | Altitude (m) | Curvas (m) | SRTM (m) | Diferença (m) |
|--------|--------------|------------|----------|---------------|
| 2      | 1.195,363    | 20,6       | 20,7     | 0,1           |
| 6      | 3,639        | 5,4        | 4,0      | -1,4          |
| 8      | 5,956        | 5,0        | 11,5     | 6,5           |
| 10     | 4,700        | 0,5        | 5,2      | 4,7           |
| 12     | 1.025,787    | 4,3        | 7,0      | 2,7           |
| 14     | 1.070,884    | 18,6       | 19,2     | 0,6           |
| 20     | 1.100,073    | 16,0       | 20,5     | 4,5           |
| Médias |              | 10,1       | 12,6     | 2,9           |



Tabela 5.3: Classificação de documentos cartográficos através do PEC. Fonte: Santos (2005)

| Categoria                            | PLANIMÉTRICA |      | ALTIMÉTRICA |        |
|--------------------------------------|--------------|------|-------------|--------|
|                                      | Tolerância   | EMQ  | Tolerância  | EMQ    |
| A                                    | 50 m         | 30 m | 25 m        | 16.6 m |
| B                                    | 80 m         | 50 m | 30 m        | 20 m   |
| C                                    | 100 m        | 60 m | 36.6 m      | 25 m   |
| Obs: Valores para a escala 1:100.000 |              |      |             |        |

Os valores apresentados na tabela acima mostram que os dados fornecidos pelo SRTM, enquadram-se perfeitamente na categoria A.

### 5.2.3 Uso das imagens SRTM

A partir do modelo digital de terreno fornecido pelo SRTM procurou-se gerar um modelo topográfico da RMR, com precisão maior que aquele que pode ser fornecido através da digitalização das cartas topográficas na escala de 1:100.000. Além disso, pretende-se um grau de precisão maior que os obtidos com os dados dessas cartas para os seguintes temas: declividade, drenagem e formas de relevo.

Essa comparação dos dois modelos digitais de terreno é importante na medida em que, a facilidade de obtenção, a gratuidade da imagem SRTM (modelo digital de elevação) e a cobertura de quase toda a superfície terrestre por esses dados, tornam rápida e eficiente a obtenção de informações muito úteis para estudos de geologia, riscos geológicos, geotécnica, engenharia e gestão territorial..

### 5.2.4 Pré-tratamento das imagens SRTM

A RMR é coberta pelas imagens SB 25 e SC 25 (nomenclatura similar às cartas ao milionésimo), da grade de localização SRTM. Dessa forma, foi necessário fazer um mosaico com as duas imagens, utilizando-se para isso o software ENVI 4.0. Posteriormente, ainda utilizando-se o ENVI 4.0, foram corrigidos os erros de altimetria da imagem, provenientes da própria forma de imageamento do sensor.

Esses erros vêm caracterizados nas imagens com os valores de -32768 (caso de pixel sem valor de altimetria) e valores com cota negativa (valores diferentes de -32768) junto ao mar.

Para a correção desse problema procedeu-se da seguinte forma:

. Recortou-se a área da RMR com um polígono onde a área da nova imagem contivesse um mínimo de área de mar (o recorte tem de ser o mais rente à costa possível). Verificaram-se quais os intervalos entre os valores negativos máximos e mínimos da altimetria.

. Aplicou-se na nova imagem o comando “Corrigir valores defeituosos”, que cria um valor corrigido para o pixel (através de interpolação com pontos vizinhos), substituindo o valor -32768.

Os demais valores negativos não foram substituídos na imagem para que, os pontos com valores de altimetria negativa e que, nesta imagem, representam corpos d’água, não tivessem sua altimetria e geometria alteradas.

A imagem agora gerada não possui mais pontos defeituosos, podendo ser usada para as finalidades pretendidas.

O próximo passo foi mudar a projeção da imagem original, para adequá-la aos dados existentes. Essa mudança foi realizada também no ENVI 4.0 e, transformou a imagem original da projeção geográfica e datum WGS 84 para projeção UTM (Universal Transversa de Mercator) e datum WGS84.

A imagem SRTM, já corrigida, foi levada para o software *ArcMap* 9.1 (extensão *Spatial Analyst*) onde, foram elaborados, a partir dos dados nela contidos, o mapa de contornos (curvas de nível), o mapa hipsométrico, o modelo shade de relevo (relevo sombreado). Além disso, foram obtidos também, os mapas de declividades e o de orientação das encostas (orientação da face dos taludes), perfis horizontais e verticais de encostas comentados nos capítulo seguintes e que podem ser vistos em anexo no final deste trabalho.

### **5.3 Modelo Digital de Terreno**

A construção de modelos digitais de elevação é uma prática adotada muito recentemente dentro das geotecnologias. Os primeiros modelos foram gerados a partir da digitalização de dados topográficos, coletados no campo, Melgaço (2005).

O MDT (Modelo Digital de Terreno) é definido por Fernandes (2005), como “Qualquer representação digital de uma variação contínua do relevo no espaço”. A construção do MDT se dá a partir de algoritmos de interpolação que geram este modelo através de grades regulares (GRID) ou, redes irregulares (TIN).

Na construção do MDT (base para o mapa de declividades) foram utilizadas as curvas de nível digitalizadas a partir das cartas topográficas da SUDENE e, os pontos cotados e RNs existentes nessas cartas.

Na geração do MDT a partir da digitalização das curvas de nível existentes nos mapas elaborados pela SUDENE (Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste), adotou-se a metodologia utilizada por Silva (1999). Assim, o modelo de grade utilizado foi o TIN (triangular irregular network) também conhecido como triangulação de Delaunay. Neste método, as células de cálculo, apresentam uma distribuição irregular, representando com maior realismo as superfícies não homogêneas com variações locais acentuadas e, além disso, permitem inserir no cálculo do modelo, feições geomorfológicas, como drenagens, por exemplo.

Inicialmente, as cartas topográficas, Itamaracá, Limoeiro, Vitória de Santo Antão, Recife e Sirinhaen, todas de autoria da SUDENE (1:100.000), foram digitalizadas, adotando-se o espaçamento original de 40 metros para as curvas e, inserido o atributo elevação. Seguiu-se a geração de um novo arquivo digital, incluindo os pontos cotados e os RNs presentes nas folhas topográficas, que foi usado para geração do MDT.

Uma comparação do modelo digital de terreno gerado, a partir da digitalização das curvas de nível das cartas topográficas e dos dados obtidos do SRTM, permitiu atestar uma boa correlação entre as formas de relevo geradas pelos dois métodos (Figura 1).

Esse fato permite a utilização dos dados do radar do Shuttle, no auxílio a extração da drenagem e definição de um modelo digital de terreno mais preciso, que servirá como auxílio na geração de um mapa de suscetibilidade a deslizamentos para toda a Região Metropolitana do Recife.

Foram também gerados os mapas Hipsométrico (em anexo) da região, um utilizando os dados das cartas da SUDENE e outro, utilizando os dados do SRTM.

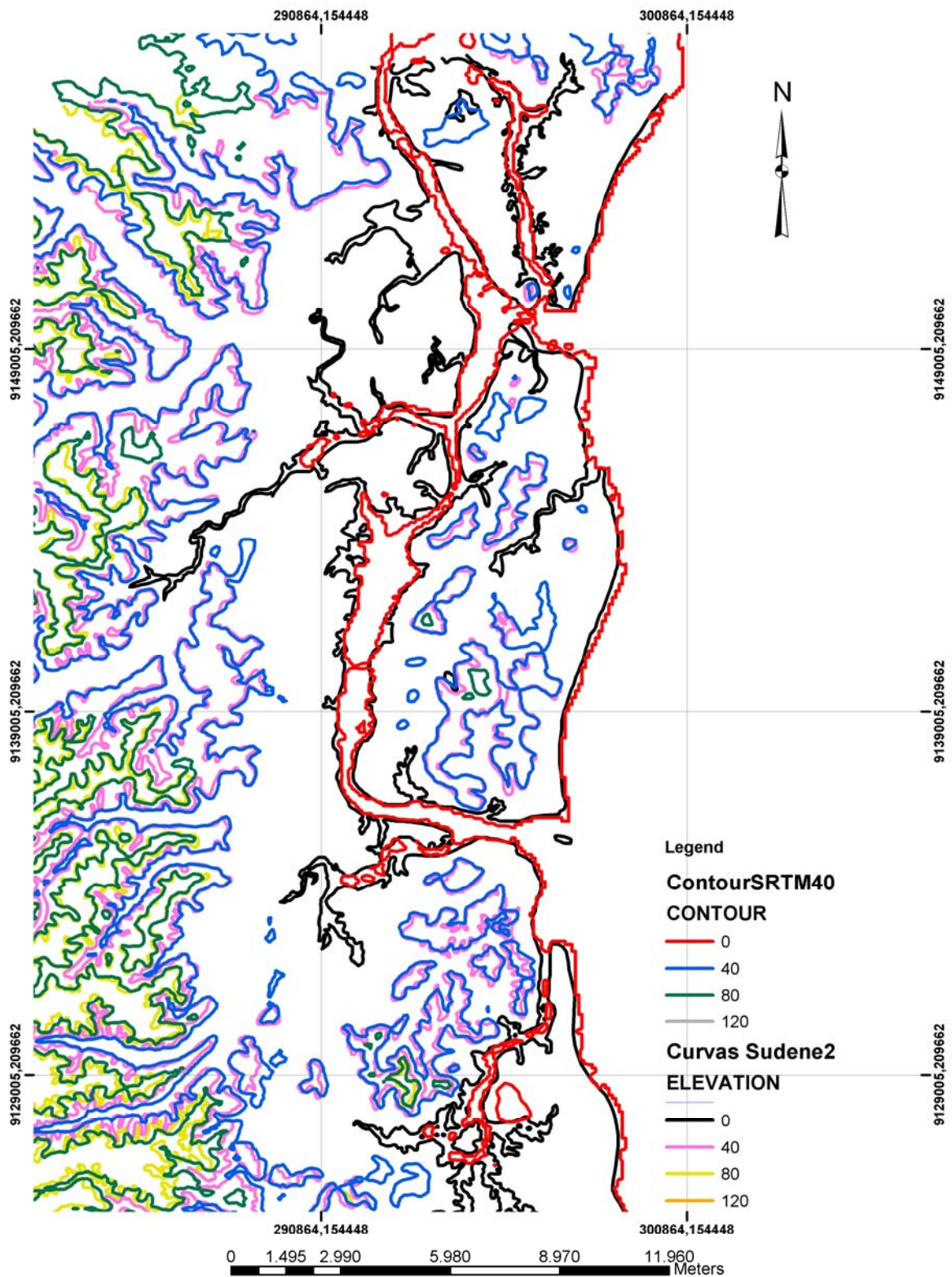


Figura 1: Comparação, visual, entre as curvas topográficas das cartas da Sudene e as curvas geradas pelo SRTM.

### 5.3.1 A Extração Automática da Drenagem

O conhecimento preciso da drenagem é de suma importância na definição das áreas das bacias e sub bacias a serem estudadas na pesquisa da suscetibilidade aos deslizamentos.

Na escala de trabalho de 1:100.000, a drenagem extraída das folhas topográficas, pode não conter o grau de detalhamento necessário. Assim, optou-se pela extração automática da drenagem, com base nos dados do SRTM, objetivando obter não só um maior detalhamento da mesma como também maior velocidade na sua obtenção.

Para extração automática das drenagens, a partir dos dados do SRTM, utilizou-se a extensão Hydrology do software *ArcMap* 9.1. Esta extensão permite “calibrar” a extensão mínima de cada curso de água a ser representada na forma de um vetor. Aqui, optou-se pela extração de cursos de água com representatividade de no mínimo 500 metros (compatível com a resolução espacial do SRTM).

A drenagem gerada, quando comparada a existente nas cartas topográficas na escala de 1:100.000, apresenta as seguintes características:

- a) Boa correlação com as drenagens mostradas na imagem Geo Cover (Fig.3).
- b) Boas correlações espaciais, sendo a localização entre as duas drenagens muito similares (Fig.4);
- c) Densidade maior de drenagens em relação àquelas encontradas nas cartas topográficas;

Embora a drenagem automática apresente todas estas características positivas, apresenta também as seguintes características negativas:

- a) Grandes distorções de número e localização nas áreas mais planas e baixas;
- b) Os rios mais largos são representados como uma linha bem fina no centro do curso d'água e, dependendo da escala de visualização, os segmentos de drenagem apresentam formas retilíneas que criam “vértices” e não curvas.

Essas características negativas tornam necessária a edição dessas drenagens em alguns trechos (nas áreas da planície e de corpos d'água), tomando como base as imagens Geocover e as drenagens extraídas das cartas topográficas.

Dessa forma, a drenagem automática só foi utilizada nas áreas mais altas da RMR, sendo na área da planície, utilizada a drenagem extraída das ortofotocartas (na escala de 1:10.000 da FIDEM).



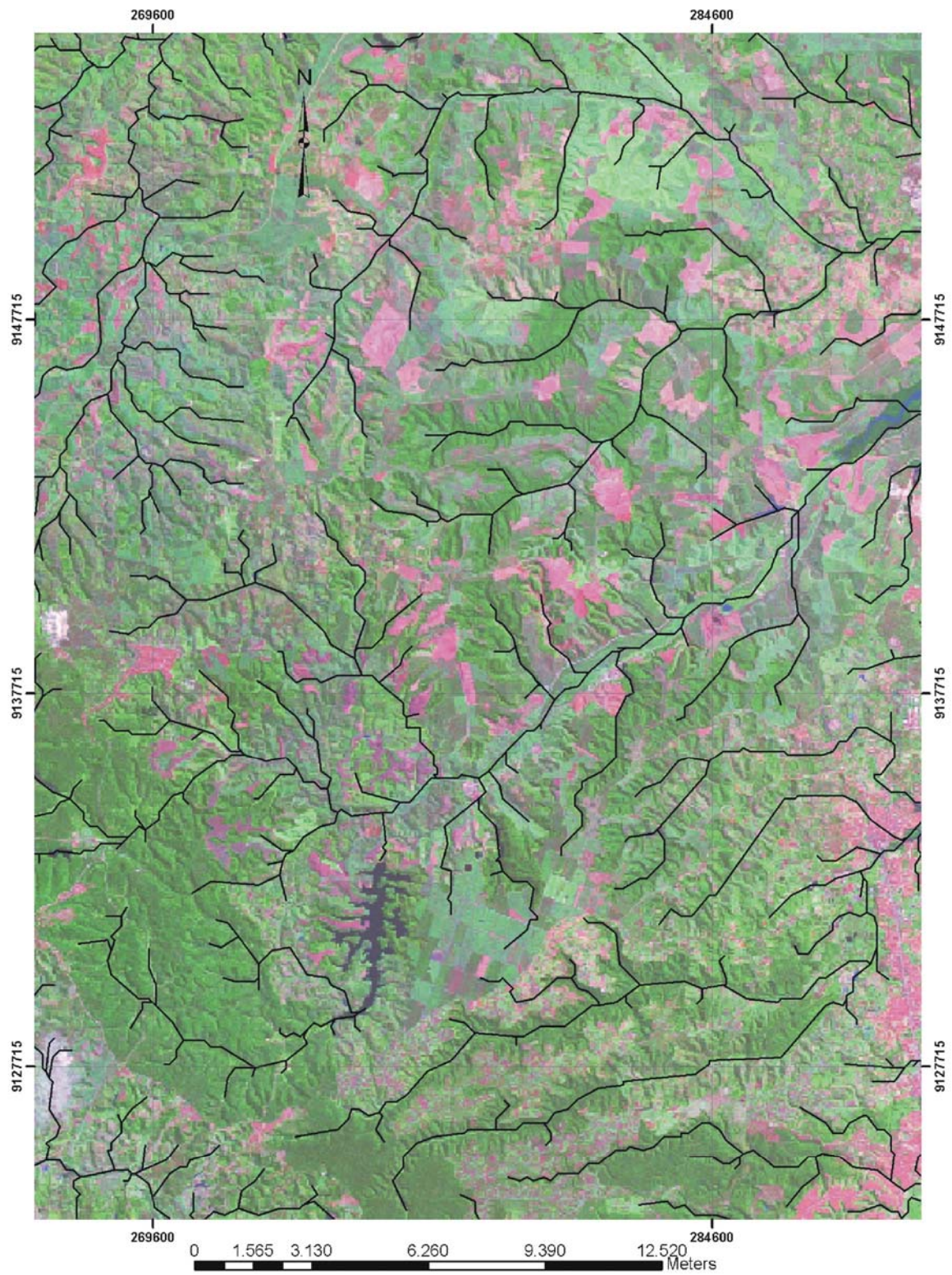


Figura 5.3: Correlação entre a drenagem automática e a imagem Geocover

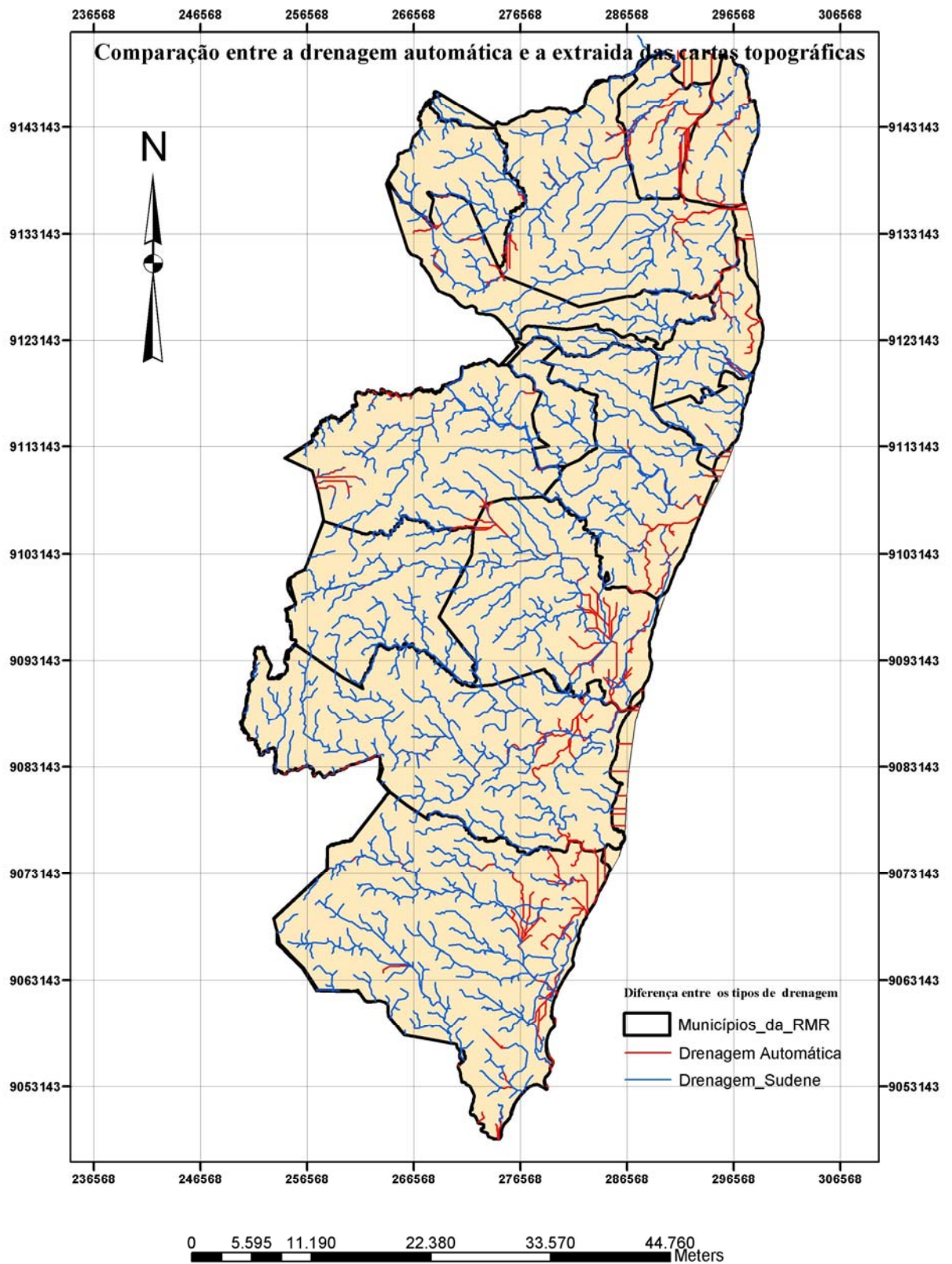


Figura 5.4: Comparação entre a drenagem automática e a drenagem extraída da carta topográfica. Em vermelho, os pontos de divergência da drenagem automática.



### 5.3.2 Mapa de Declividades

A construção do Mapa de declividades foi realizada com base nos arquivos digitais do MDT-SRTM e do MDT gerado a partir das curvas da SUDENE. As ferramentas utilizadas foram o módulo *Spatial Analyst* do *ArcMap* 9.1. O software utilizado permite escolher os intervalos de declividade (em porcentagem) ou inclinação da encosta (em graus) a serem calculados.

Na construção do mapa de declividade, foram adotados os intervalos de 0-3%, 3-8%, 8-20%, 20-45%, 45-75% e >75%, utilizados para classificação das formas de relevo por Valeriano (2003). Posteriormente, esses intervalos foram reamostrados para apenas 3 valores (0-8%, 8-30% e >30%), com o objetivo de atender a classificação fina do mapa de alta, média e baixa suscetibilidade a deslizamentos e também para atender a legislação vigente (Lei Federal 6766/79) que estabelece o limite igual a 30% ou mais para a ocupação do solo. Também foram adotados na construção dos perfis de encostas (vertical e horizontal) os intervalos usados por Valeriano (2003).

Uma comparação, visual, entre os dois modelos gerados (figura 6) indicou uma melhor resposta da declividade gerada a partir dos dados SRTM, provavelmente, devido ao maior número de pontos de controle existentes nestes arquivos.

### 5.3.3 Perfil de Encostas

Na geração dos perfis verticais de encostas, foi utilizada a ferramenta Modelagem Topográfica do software ENVI 4.0, admitindo os valores negativos como pertencentes a perfis de concavidade, valores próximos a zero como perfis planos e valores positivos como pertencentes a perfis convexos. No caso dos perfis horizontais, os valores negativos indicam encostas convergentes, valor zero indicou encostas retilíneas e valores positivos encostas divergentes.

No cálculo do perfil vertical adotou-se a premissa de que encostas côncavas possuem altas suscetibilidades a deslizamentos, encostas retilíneas médias suscetibilidade e encostas convexas baixas suscetibilidade a deslizamentos. No perfil horizontal das encostas, foi caracterizado que as encostas convergentes são indutoras de suscetibilidades altas, as retilíneas médias indutoras e as divergentes pouco indutoras de suscetibilidades a deslizamentos.



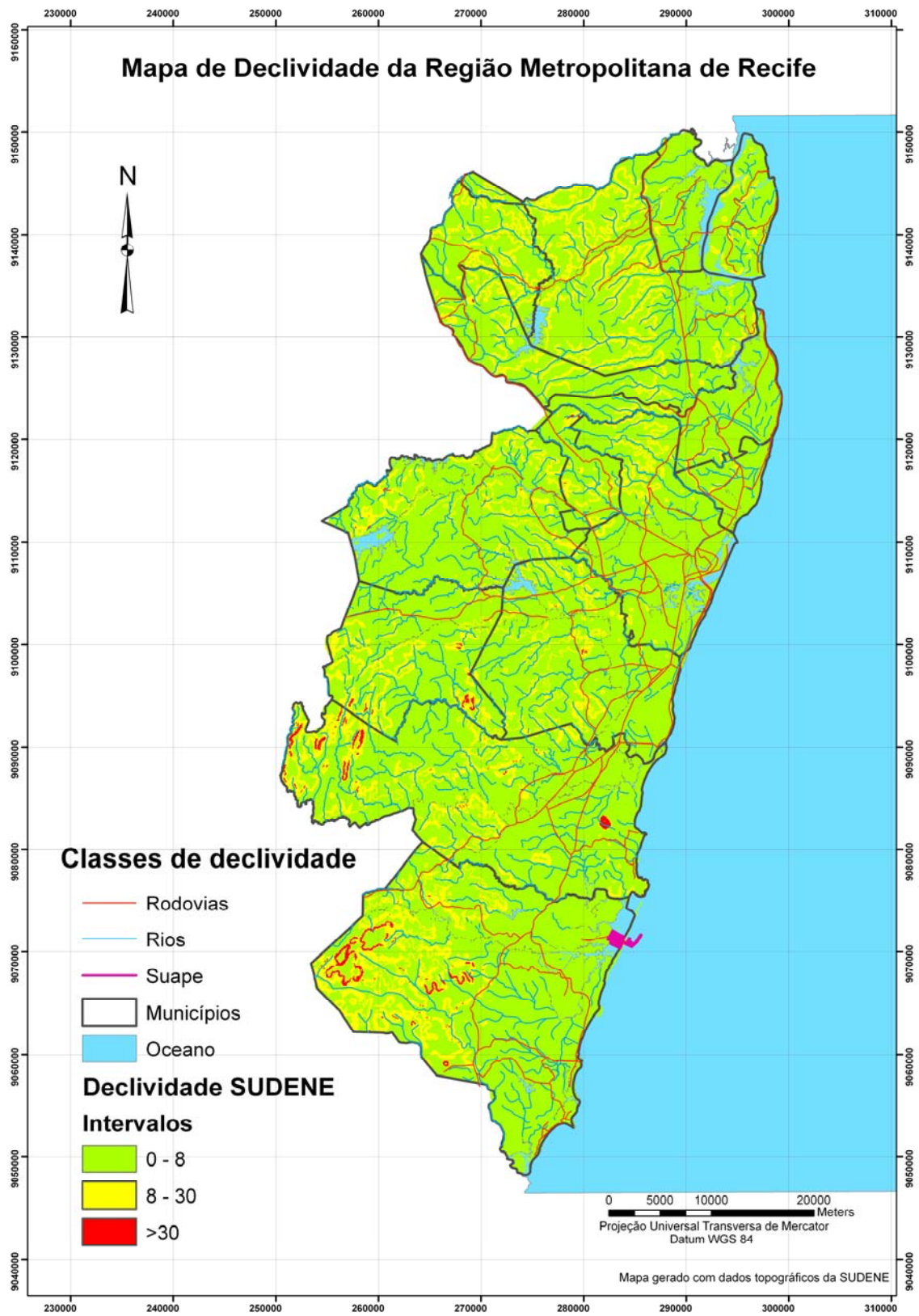


Figura 5.5: Declividade a partir das curvas topográficas da SUDENE



Figura 5.6: Declividade a partir dos dados do SRTM

#### 5.4 Mapa Geomorfológico

Na elaboração do mapa geomorfológico foram utilizados, os dados contidos nas imagens SRTM, onde a partir da geração de um modelo em 3D (relevo sombreado), a área foi estudada com base nas formas de relevo nela existentes. O relevo sombreado foi gerado no ENVI 4.0, utilizando-se o comando *topographic*, opção “criar visualização *hill shade*”, que permite gerar uma visão tridimensional do terreno a partir de seu MDT.

Nessa imagem tridimensional foram analisados visualmente, os seguintes parâmetros: densidade de drenagem, formas e feições de relevo, o que possibilitou a individualização das diversas formas de relevo e levou a geração do mapa geomorfológico (em anexo).

#### 5.5 Mapa de Uso do Solo

Na elaboração do mapa de uso do solo foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 7 e CBERS 2. As imagens foram importadas para o software ENVI 4.0, com a utilização do comando Classificação Supervisionada seguindo-se a seguinte metodologia:

- a) Vetorização das amostras de cada área a ser delimitada (área urbana, florestas, etc) com a ferramenta Região de Interesse, Definir Região de Interesse.
- b) Geração da classificação com os comandos, Classificação, Supervisionada, Máxima Verossimilhança.
- c) Refinamento da classificação da imagem obtida utilizando os comandos Pós Classificação, Sieve Classes (para eliminar as áreas de cada classe muito pequenas) e, Pós Classificação, Clump Classes (para aglutinar os *pixels* dispersos em polígonos maiores).
- d) Vetorização de cada classe com os comandos Pós Classificação, Vetorização de Classes.
- e) Edição de cada classe vetorizada com base nas imagens usadas para classificação, utilizando o *ArcMap 9.1*.

A edição de cada classe vetorizada foi necessária por ser mais próxima de uma classificação visual. Atualmente, ainda não é possível a partir dos algoritmos de classificação automática obter um resultado que a classificação visual oferece.

Além disto, as imagens utilizadas possuíam grandes áreas cobertas por nuvens, tornando necessário obter a informação a partir de dados fragmentados em duas imagens

distintas. Portanto, trechos cobertos por nuvens na imagem Landsat tiveram de ser complementados por dados extraídos das imagens CBERS.

### 5.6 Elaboração do Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos da RMR

Para a geração do mapa de suscetibilidade utilizou-se neste trabalho o método da álgebra de mapas. Tal método foi escolhido devido a sua praticidade e simplicidade, com resultados bastante confiáveis para a escala do trabalho proposto e, já bastante testados por outros autores.

Os mapas de geologia, declividade, solos, perfil vertical e horizontal de encostas e uso do solo foram somados utilizando-se o módulo Spatial Analyst do software ArcMap 9.1.

Os mapas digitais de geologia, solos e uso do solo, no formato *shapefile*, tiveram inserido nas suas tabelas de atributos um campo denominado INDEX, onde cada uma das unidades individualizadas nos mapas foi classificada segundo suas características de suscetibilidade aos deslizamentos, de acordo com valores de 1 até 3 (conforme mostrado nas tabelas abaixo).

A coluna INDEX da Tabela 4 (vide anexos) mostra uma exemplificação do grau de susceptibilidade inserida para deslizamento segundo a geologia da área.

Assim, por exemplo, a unidade geológica Terraços Marinhos Holocênicos teve na coluna INDEX, seu valor classificado como 1 (baixa suscetibilidade aos deslizamentos). A unidade Formação Cabo teve o valor 2 na coluna INDEX (média suscetibilidade aos deslizamentos) e, o Grupo Barreiras teve o valor 3 (alta suscetibilidade aos deslizamentos).

Depois da inclusão da coluna INDEX com os respectivos valores para cada layer dos mapas, esses arquivos foram transformados para o formato grid para que fosse possível seu geoprocessamento pelo *ArcMap* 9.1. Na transformação desses arquivos do formato *shapefile* (vetorial) para o formato grid (raster), foram definidas algumas características fundamentais para os novos arquivos gerados. É importante lembrar que os arquivos no formato grid são arquivos do tipo raster, formados de células (*pixels*), organizados na forma de linhas e colunas.

Na álgebra de mapas é necessário que haja uma uniformidade de linhas e colunas para se operar com os layers raster. Portanto, convencionou-se que todos os arquivos com extensão .grd (grid) deveriam ter as mesmas características para que pudessem ser trabalhados em ambiente SIG. Assim todos deveriam ter o mesmo número de linhas, colunas, tamanho de célula (pixel) e limites geográficos.

O número de linhas é 1326, o de colunas 1000, o tamanho da célula foi definido em 92 metros (resolução espacial do SRTM) e a área geográfica ocupa um retângulo de 92 por 122

quilômetros, delimitado pelas coordenadas 9163000 N e 236000W e 9041000N e 328000W. Esse procedimento foi necessário, pois todo o processamento da álgebra de mapas utiliza-se da operação entre matrizes (mapas no formato grid), que devem ter características similares.

No caso dos mapas gerados inicialmente no formato grid tais como o mapa de declividades, e de perfil de convexidade vertical e horizontal, procedeu-se a uma reamostragem das classes representadas, no comando *reclass* do *Spatial Analyst*. Essa reclassificação atribuiu aos intervalos de classificação os valores de 1, 2 ou 3, seguindo o mesmo critério dos demais mapas anteriormente citados.

## **CAPITULO VI: SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS NA RMR**

### **6.1 A Importância dos fatores ambientais na análise da suscetibilidade**

Nos ambientes tropicais é comum a existência de espesso manto de alteração das rochas, originado devido a intensa ação do intemperismo. Esse manto de alteração possui características diversas de composições granulométricas, mineralógicas, de estruturas, e de espessura, e que vai depender da litologia, geomorfologia e hidrologia da região.

É nesse manto de intemperismo que atuam os vários fatores naturais e antrópicos que propiciarão os movimentos de massa. Tais movimentações se darão basicamente sob a influência das condições geológicas e geomorfológicas da área bem como das condições climáticas atuantes.

Dessa forma, o conhecimento desses fatores naturais é importante na previsão da suscetibilidade dos terrenos a movimentos de massa.

#### 6.1.1 Geologia

O conhecimento da geologia é um dos fatores mais importantes, se não o mais importante, na análise dos modelos de ruptura dos maciços (principalmente os rochosos). Os tipos petrográficos presentes, bem como sua mineralogia, coesão, falhas, fraturas, diáclases, e todos os demais planos de fraqueza existentes no maciço são atributos que influenciam diretamente nos cálculos do fator de segurança dos taludes (quando já ocupados) ou, na suscetibilidade a deslizamentos (quando não ocupados).

A presença de cada tipo litológico em uma encosta proporciona a esta um tipo de comportamento específico. Assim, encostas formadas por litologias cristalinas com mineralogia composta por feldspatos e minerais ferromagnesianos tendem a gerar, em muitos casos, blocos isolados (matacões), solos argilosos ou silto argilosos de considerável espessura. Encostas com estas características podem ser encontradas nos municípios de Jaboatão dos Guararapes e Ipojuca, em áreas ocupadas pelas litologias pertencentes ao Complexo Granito Gnáissico.

Encostas formadas por litologias de origem sedimentar por sua vez, dependem da sua gênese. Além disso, devido a sua própria composição ângulo de atrito entre os grãos e o grau de coesão, as litologias sedimentares e os sedimentos inconsolidados (areias e argilas) estão mais sujeitas aos processos erosivos que os tipos cristalinos. Apresentando, algumas vezes, comportamento similar ao dos solos com mesma composição mineral e granulométrica. As

litologias da Formação Barreiras, compostas por arenitos e siltitos (principalmente), são bastante suscetíveis à erosão já que são bastante friáveis e com uma alternância de camadas com composição granulométrica e mineralógica distintas.

O conhecimento das discontinuidades geológicas é de grande importância para a compreensão da previsão do comportamento da estabilidade das encostas naturais.

As estruturas geológicas imprimem forte anisotropia às rochas e representam importantes planos de fraqueza que, se orientados desfavoravelmente aos planos dos taludes, são geradoras de potenciais superfícies de ruptura. Essas discontinuidades são preservadas nas massas de solo originadas da alteração dos maciços rochosos.

Existe uma tendência natural para que os processos de ruptura de um maciço ocorram preferencialmente ao longo de um plano de fraqueza e segundo sua orientação. Os planos de fraqueza são os pontos preferenciais para percolação das águas, que serve como “lubrificante”, auxiliando o deslizamento entre duas camadas. Além disso, a penetração e crescimento de raízes e caules de plantas entre as paredes de uma fratura aberta ou o congelamento da água nesses espaços, criam esforços de separação entre as duas paredes e um possível deslizamento entre estas.

### 6.1.2 Geomorfologia

Dentro da geomorfologia são estudados seis atributos: declividade, altura, perfil, comprimento, morfologia (curvatura) e drenagem da encosta. Todos estes atributos são reconhecidamente importantes na deflagração dos processos erosivos e de deslizamento de uma encosta.

Os processos erosivos e de deslizamento estão intrinsecamente ligados à água. Dessa forma, a energia do movimento da água que atua sobre uma encosta será tanto maior quanto maior seja a altura, a declividade (cuja expressão matemática pode ser vista na figura 1) e, o comprimento da encosta. A morfologia da encosta (curvatura horizontal da encosta), disposta na forma de um anfiteatro, por exemplo, serve como fator de concentração das águas em um determinado ponto, aumentando a energia destrutiva da água nesse ponto. O perfil da encosta pode ser um fator de aceleração ou frenagem das águas, assim aumentando ou diminuindo sua energia destrutiva.

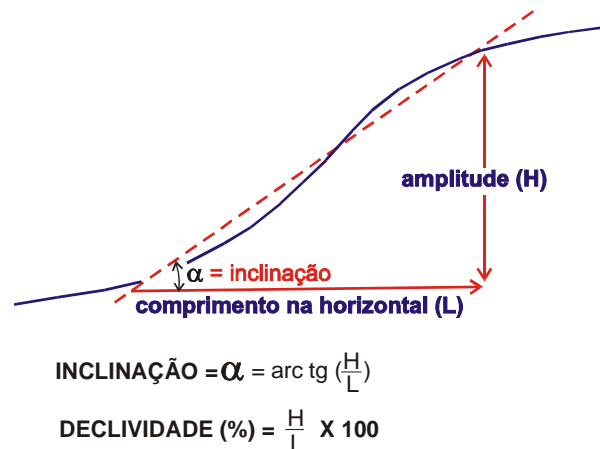


Figura 1: Caracterização matemática da declividade

Assim, encostas retilíneas e convexas tendem a dispersar ao longo do talude as águas das chuvas enquanto encostas côncavas tendem a concentrar as águas das chuvas em um único local. Uma caracterização mais detalhada sobre formas e tipos de encostas pode ser encontrada em Valeriano (2004).

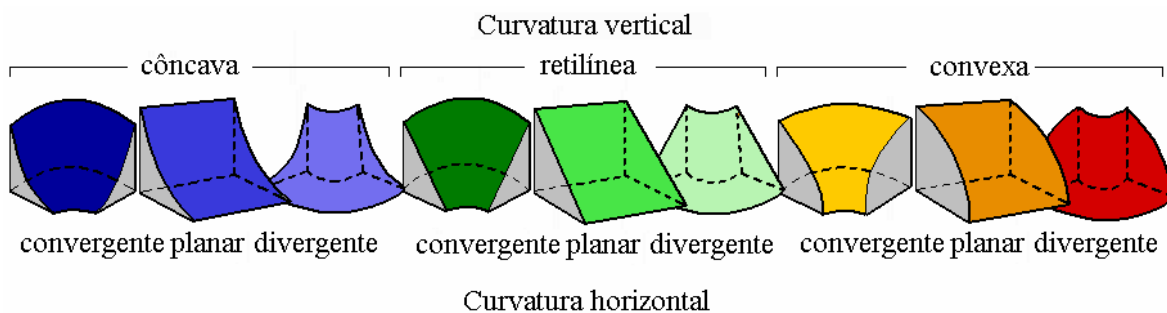


Figura 2: Tipos de perfis e morfologia de encostas (extraído de Valeriano, 2004).

### 6.1.3 Vegetação

O efeito positivo da cobertura vegetal sobre os solos, taludes naturais e artificiais em solo, é conhecido e aceito há muitos anos pela comunidade científica mundial. Os exemplos práticos dos danos provocados pelo desmatamento de encostas podem ser vistos em inúmeros casos relatados pela literatura técnica e, são do conhecimento da população da maioria das cidades brasileiras com encostas ocupadas irregularmente.



O fato é que a intrincada trama das raízes tende a “segurar” a massa de solo bem como, as folhagens tendem a diminuir a velocidade e a quantidade das gotas de chuva que chegam ao solo. Além disso, as folhagens caídas diminuem a velocidade de escoamento e de infiltração da chuva no solo (Suarez, 1997). Esses fatos contribuem na diminuição da velocidade de saturação do solo impedindo conseqüentemente a diminuição da coesão e o aumento da pressão piezométrica, componentes importantes na composição de forças de cisalhamento atuantes sobre o solo.

A eficiência da cobertura vegetal como elemento mitigador dos processos erosivos e cisalhantes dos solos, depende de alguns fatores que variam de caso a caso.

Assim, o volume e a densidade das folhagens, tamanho, ângulo de inclinação e rugosidade das folhas, altura total da cobertura vegetal, presença de vários estratos vegetais, tipo, forma, profundidade, diâmetro, comprimento, resistência e densidade das raízes, possuem características próprias em cada local.

Embora, cada fator citado acima varie de importância de lugar para lugar, o resultado final será sempre de uma proteção maior para o talude conforme aumente a sua área coberta por vegetação.

De acordo com Suarez, (1997), a estabilidade de um talude aumenta de 10 a 13,5 % de acordo com a presença de cobertura vegetal. Já, em caso específico, este autor, encontrou um aumento de 33% no fator de segurança calculado para um talude vegetado em relação a outro desmatado sendo que, afirma ter encontrado em alguns casos um aumento de 3 a 4 vezes na resistência ao cisalhamento para taludes vegetados sendo isso, devido ao aumento da coesão do solo.

As características do sistema radicular são de grande importância na estabilidade de um talude. Sistemas radiculares de grande densidade, com raízes que se espalham horizontalmente e em profundidade, atuam de forma importante ajudando a diminuir as forças que induzem ao cisalhamento do solo. Nas árvores de grande porte a influência das raízes pode chegar a 5 metros de profundidade (com casos excepcionais que atingem 20 metros), enquanto em arbusto, essa influência chega aos 2 metros e em gramíneas (capins mais comuns), essa profundidade fica em torno dos 30 centímetros (Suarez, 1997). Isto torna claro porque encostas florestadas são mais estáveis que encostas cobertas por capim.

Muito embora existam todos estes fatores a favor do aumento da estabilidade dos taludes em relação à presença de cobertura vegetal, em alguns momentos, a ação dos ventos sobre as folhagens pode agir de forma negativa, gerando um efeito de “alavanca” sobre as raízes aumentando o esforço cisalhante sobre o solo. Também, alguns vegetais, como as bananeiras por exemplo, propiciam o acúmulo de umidade levando o solo a um estado de quase saturação permanente. Encontrando-se muito próximo a o seu nível de saturação, o solo esta sujeito à ação de forças cisalhantes e a perda de coesão.

Por fim, cabe citar que a condição de florestamento total de um talude não implica em sua completa estabilidade já que, também podem ser encontrados casos de deslizamentos desses taludes, principalmente após grandes chuvas que saturam a massa de solo e aumentam o nível freático diminuindo grandemente a coesão e aumentando a poro pressão.

#### 6.1.4 Solos

O alvo nesse estudo de suscetibilidade é fundamentalmente, o solo do ponto de vista geotécnico e não agrônomico. Neste caso, o conhecimento do perfil de alteração dos materiais litológicos é fundamental. O estudo dos solos é importante também tendo em vista que, os deslizamentos e desmoronamentos mais freqüentes e, que ceifam mais vidas, ocorrem em solos.

A formação do perfil de alteração é um processo complexo, com a atuação de vários fatores naturais tais como a rocha matriz, o clima, a morfologia do terreno, a tectônica atuante e o tempo de atuação dos agentes climáticos sobre as rochas. Assim, o grau de decomposição e espessura dos diferentes horizontes do material rochoso ao longo de um perfil de alteração é bastante variável. Podendo ir da rocha sã até o solo residual, estágio mais avançado da decomposição de uma rocha, com espessuras dessimétricas a decamétricas.

## **6.2 Avaliação do grau de importância de cada tema**

A RMR não conta com uma ampla bibliografia voltada para o tema suscetibilidade a deslizamentos e nem mesmo com registros confiáveis e georreferenciados de deslizamentos. Mesmo o município de Recife, que já dispõe de um banco de dados, não especifica o tipo e dimensões dos deslizamentos, incluindo todo o tipo de ocorrência na mesma categoria de evento de risco.

Na RMR as cicatrizes de deslizamentos antigos são difíceis de serem visualizadas em produtos de sensoriamento remoto devido à baixa resolução das imagens disponíveis. Só ao

final da década de 1990 foi possível contar com produtos de alta resolução e assim mesmo, com custo elevado e com grande cobertura de nuvens. As fotos aéreas são antigas, com mais de uma década. Além disso, a rápida ocupação da cicatriz no solo e, dos patamares formados pelo material deslizado, pela vegetação nativa ou pelos canaviais ou mesmo a reocupação da área pela população esconde rapidamente os sinais dos deslizamentos.

Dentre os poucos autores com trabalhos voltados para esse tema, na região, são citados Gusmão e Alheiros. Assim, na adoção do grau de importância de cada fator envolvido no processo de deslizamentos foram usados basicamente os trabalhos destes pesquisadores e, de outros em áreas com condições fisiográficas semelhantes além da experiência do autor. Dessa forma, atribuir graus de importância aos diversos fatores utilizados na geração do mapa de suscetibilidade através de geoprocessamento (método da álgebra de mapas) é bastante difícil.

Como forma de transpor essa dificuldade adotou-se como primeira hipótese de trabalho que, todos os fatores (temas) possuíam importância semelhante, com variações para cada um dos seus atributos. Assim, o fator geologia é caracterizado por um conjunto de unidades litológicas (aqui chamadas de atributos do mapa), com valores de suscetibilidade aos deslizamentos (INDEX) que variam de 1 (para a unidade Terraços Holocênicos) até 3 (para a Formação Barreiras).

No caso do fator uso do solo, foi adotada a premissa de que áreas urbanas fora da planície e as áreas de solo exposto apresentam a maior suscetibilidade a deslizamentos (INDEX 3), as áreas cobertas por canaviais e gramíneas diversas possuem INDEX 2 e, as áreas de matas nativas e os mangues, INDEX 1 (Tabela 1).

Tabela 1: Valor do INDEX para cada tipo de uso do solo

| <b>Tipo de Uso do Solo</b>     | <b>INDEX</b> |
|--------------------------------|--------------|
| Florestas                      | 1            |
| Mangues                        | 1            |
| Área Urbana (na planície)      | 1            |
| Canaviais e Gramíneas          | 2            |
| Áreas Urbanas fora da planície | 3            |
| Solo nu                        | 3            |

\*1-baixa suscetibilidade aos deslizamentos; 2-média suscetibilidade aos deslizamentos; 3-alta suscetibilidade aos deslizamentos.

Para o relevo convencionou-se que as áreas teriam um INDEX maior conforme o aumento da declividade (Tabela 2) e, do aumento da concavidade horizontal e vertical da encosta (conforme os padrões comentados no Capítulo V).

Tabela 2: Valor do INDEX para cada tipo de relevo

| Classe de Relevo | Intervalo de Declividade | Index |
|------------------|--------------------------|-------|
| Plano            | 0-3%                     | 1     |
| Suave Ondulado   | 3-8%                     | 1     |
| Ondulado         | 8-20%                    | 2     |
| Forte Ondulado   | 20-45%                   | 3     |
| Montanhoso       | 45-75%                   | 3     |
| Escarpado        | >75%                     | 3     |

\*1-baixa suscetibilidade aos deslizamentos; 2-média suscetibilidade aos deslizamentos; 3-alta suscetibilidade aos deslizamentos.

A partir desse momento, os mapas digitais de geologia, solos, declividade, perfis das encostas e, uso e ocupação do solo foram transformados para o formato grid e então, somados (Fig. 3), no módulo *Spatial Analyst* do *software Arc Map 9.1*. Foram testados os dados provenientes do SRTM e das cartas da SUDENE gerando mapas que foram posteriormente comparados com os mapas existentes (em anexo).

Não foi levado em conta no resultado final da soma, se o atributo do mapa de declividade possui valor 1 e o uso do solo valor 2 ou o inverso, o valor final adotado no ponto estudado será 3, independente da importância isolada de cada tema.

O resultado da soma entre os diversos temas é mostrado como um arquivo raster de formato grid que é, originalmente, classificado em doze classes de suscetibilidade. Esse arquivo foi então reclassificado com base no seu histograma (gráfico 1) para 3 classes denominadas como: Baixa Suscetibilidade, Média Suscetibilidade e Alta Suscetibilidade.

Essa reclassificação do arquivo gerado pela soma dos mapas seguiu o critério de agrupamento dos resultados em três classes de acordo com as seguintes funções estatísticas da extensão *Spatial Analyst* do *Arc Map 9.1*. As funções são: Intervalo Equivalente, Quantil, Quebra Natural, Desvio Padrão e Manual.

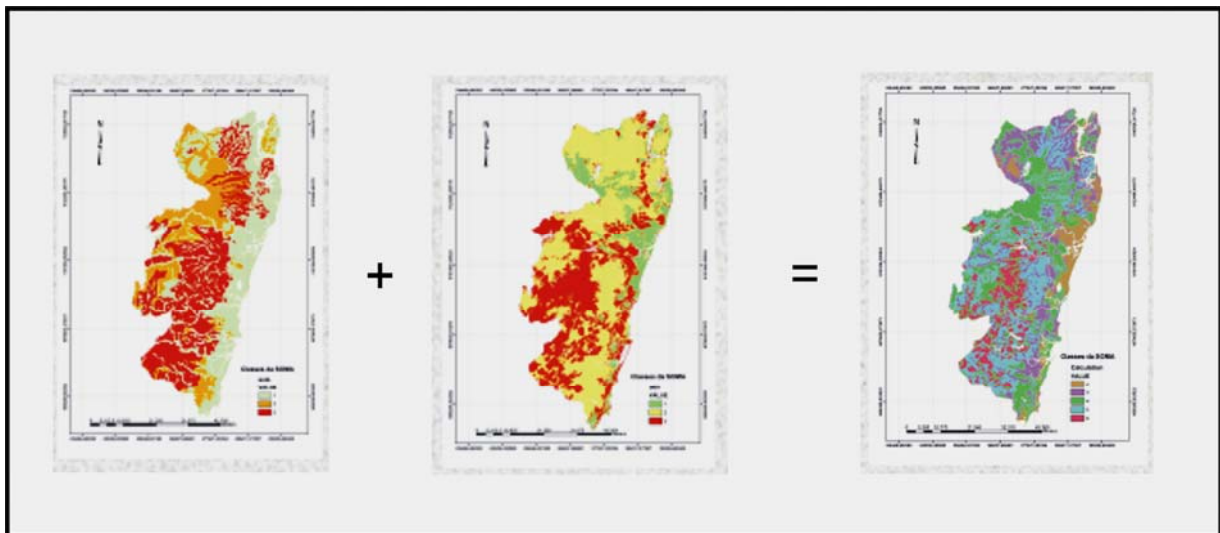


Figura 3: Processo de soma na Álgebra de mapas

O desvio Padrão e o Intervalo Definido não foram utilizados por não permitirem a reclassificação em três classes. Nessa reclassificação realizada pelo programa ArcMap, a separação das novas classes se deu a partir da análise do gráfico da soma (gráfico1) com escolha de intervalos relativamente próximos para os limites das classes, independente do método estatístico utilizado conforme mostrado na tabela 3.

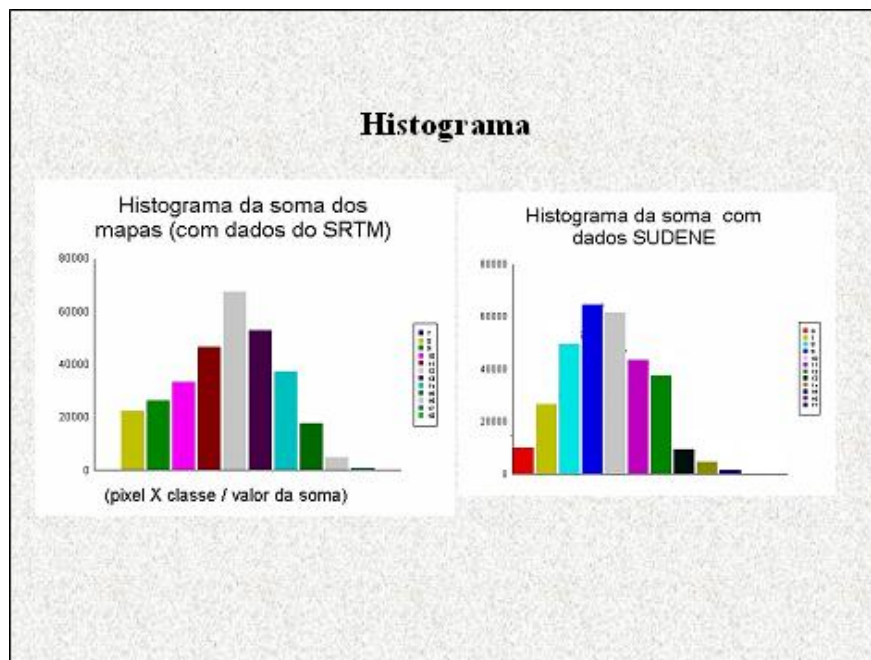


Gráfico 1: Histogramas comparativos para soma dos mapas com dados provenientes do SRTM e das cartas topográficas da SUDENE

O mapa gerado foi reclassificado, para três classes, de acordo com cada uma das funções estatísticas anteriormente mencionadas e, os resultados de cada reclassificação foram analisados e comparados com os mapas de setores de risco existentes de Jaboatão dos Guararapes e Recife (Alheiros, 2006) e, com o mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos na RMR produzido por Alheiros (1998) e mostrado na figura 4.

É claro que a comparação do mapa gerado com o mapa de suscetibilidade de Alheiros contém diferenças inerentes à metodologia, a quantidade de informações disponíveis e a escala de obtenção dos dados. Por outro lado, os mapas de risco atualmente em execução pelos municípios de Olinda, Jaboatão dos Guararapes (concluído) e Camaragibe, Além de Recife (concluído), mostra áreas totalmente antropizadas e com preocupação na determinação do risco e não da suscetibilidade natural a deslizamentos, o que exigiu extrema cautela no uso dos dados provenientes desses mapeamentos.

Dessa forma, numa comparação entre o mapa de Alheiros (1998), mostrado na figura 4 e, os geoprocessados (mostrados nas figuras 5 e 6), obtiveram-se as maiores similaridades das áreas com mesmas classes de suscetibilidade, quando foram utilizados os dados das cartas topográficas da SUDENE com a função Intervalo Equivalente. Os resultados obtidos quando se utiliza os dados provenientes do SRTM, apresentam uma coincidência entre as áreas de mesmas classes de suscetibilidade um pouco menor.

São mostrados na tabela 4, os critérios usados para definição de cada grau de suscetibilidade natural aos deslizamentos.

Tabela 3: Intervalos de reclassificação de classes de suscetibilidade de acordo com o método estatístico utilizado (utilização de dados SRTM).

| <b>Método</b>         | <b>Classe 1 (Baixa Susc)</b> | <b>Classe 2 (Média Susc)</b> | <b>Classe 3 (Alta Susc)</b> |
|-----------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Intervalo Equivalente | 0-10,66                      | 10,66-14,33                  | 14,33-18                    |
| Quantil               | 0-11                         | 11-13                        | 13-18                       |
| Quebra Natural        | 0-10                         | 10-12                        | 12-18                       |
| Manual                | 0-11                         | 11-14                        | 14-18                       |

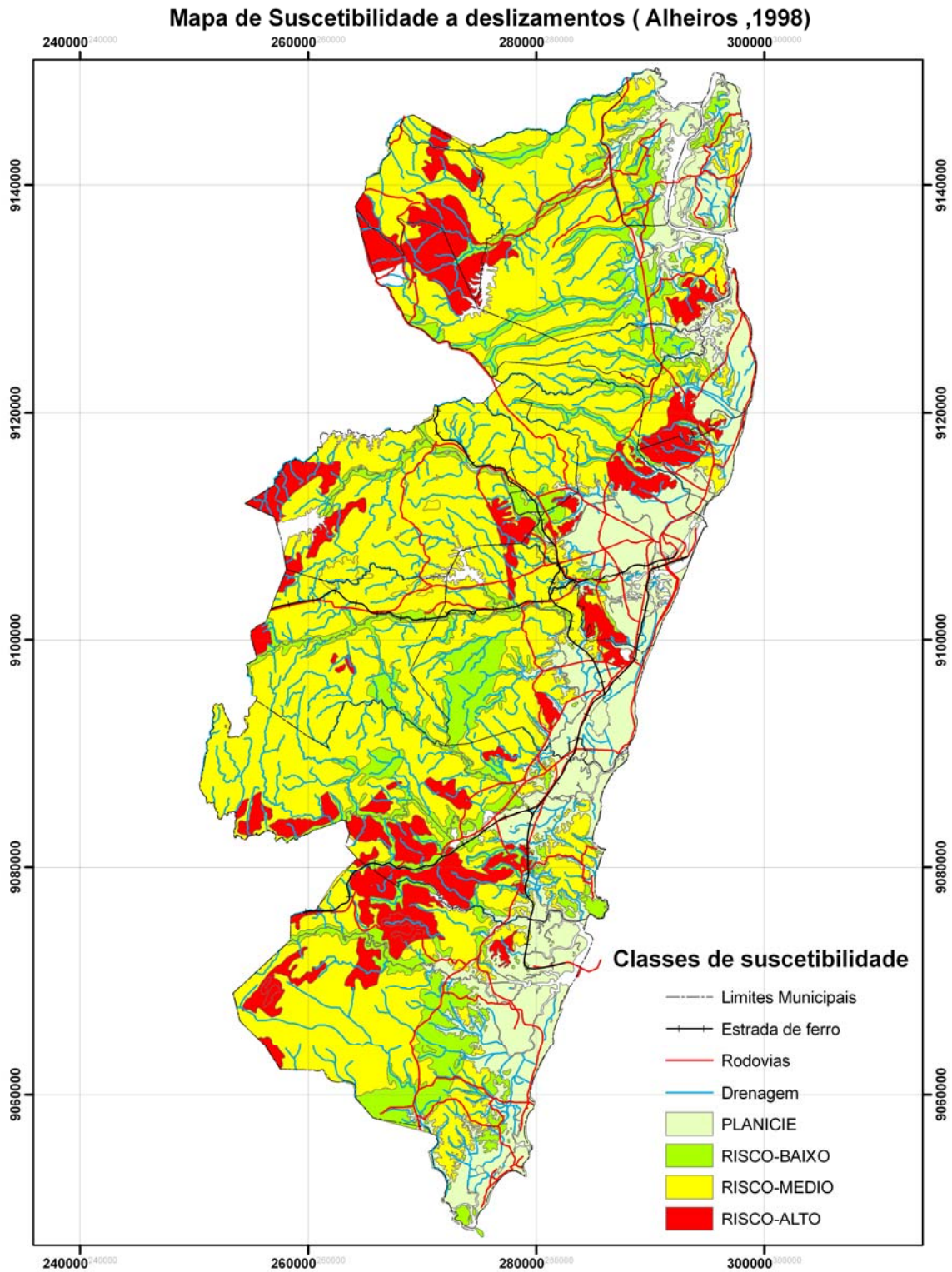


Figura 4: Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos na RMR, produzido por Alheiros (1998).

Tabela 4: Critérios de Caracterização dos Graus de Suscetibilidade Natural a Deslizamentos para RMR

| Grau de Suscetibilidade a Deslizamentos | Descrição   |
|---|---|
| S1 (Baixo)                              | <b>Declividade baixa (0-8%)<sup>1</sup>, afloramento de rocha, estruturas geológicas favoráveis, vegetação preservada, baixa densidade de drenagem e encostas com formas convexas e divergentes.</b>                          |
| S2 (Médio)                              | <b>Declividade entre 8 e 30%, estruturas geológicas menos favoráveis e vegetação menos preservada ou com tipos menos adequados área de solo exposto elevada. Forma de encosta retilíneas/convexas e planares/divergentes.</b> |
| S3 (Alto)                               | <b>Declividade &gt; 30% , estruturas geológicas menos favoráveis, vegetação pouco preservada e área de solo exposto elevada, densidade de drenagem muito elevada, forma da encosta côncava.</b>                               |



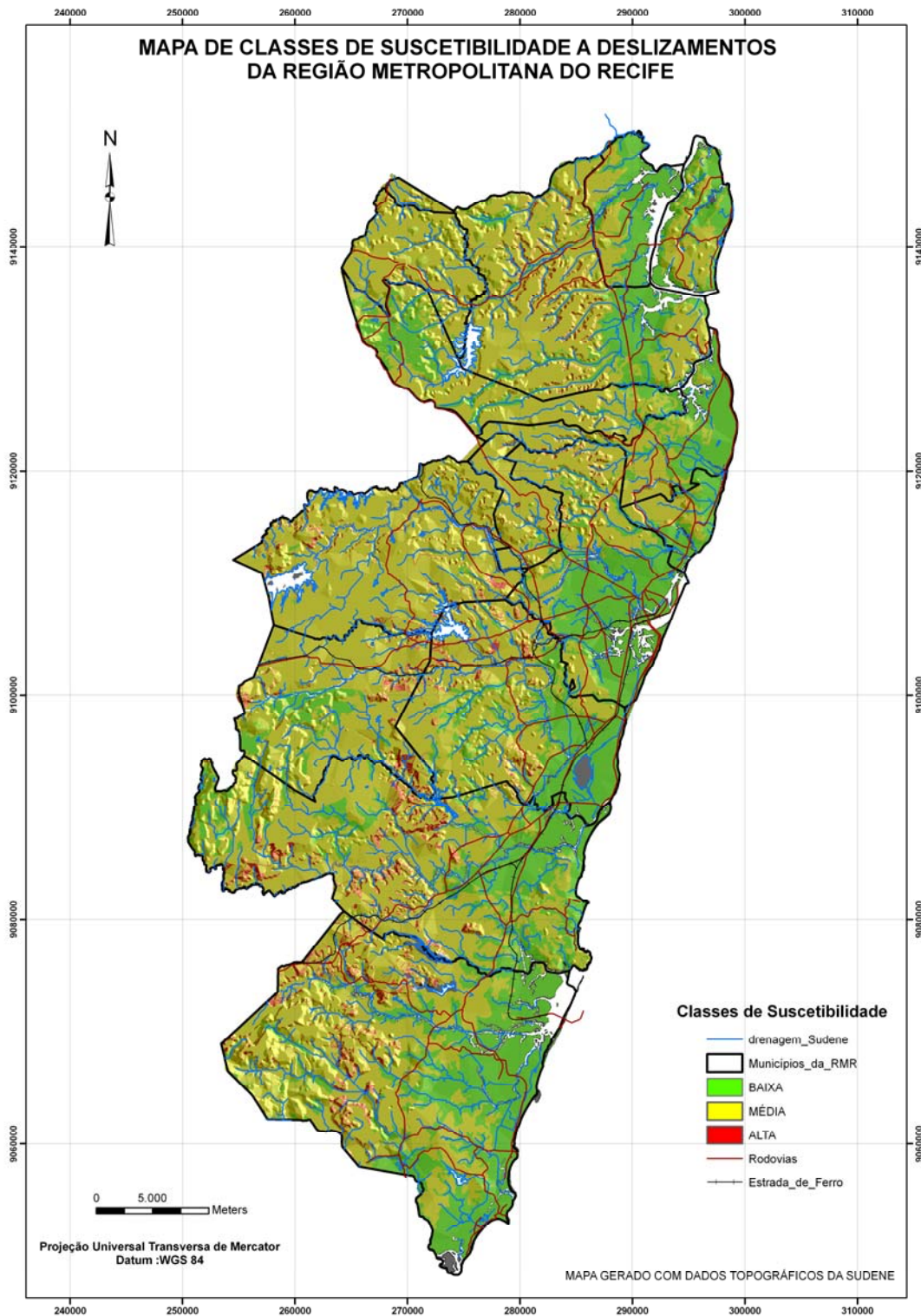


Figura 5: Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos na RMR (com dados topográficos da SUDENE).

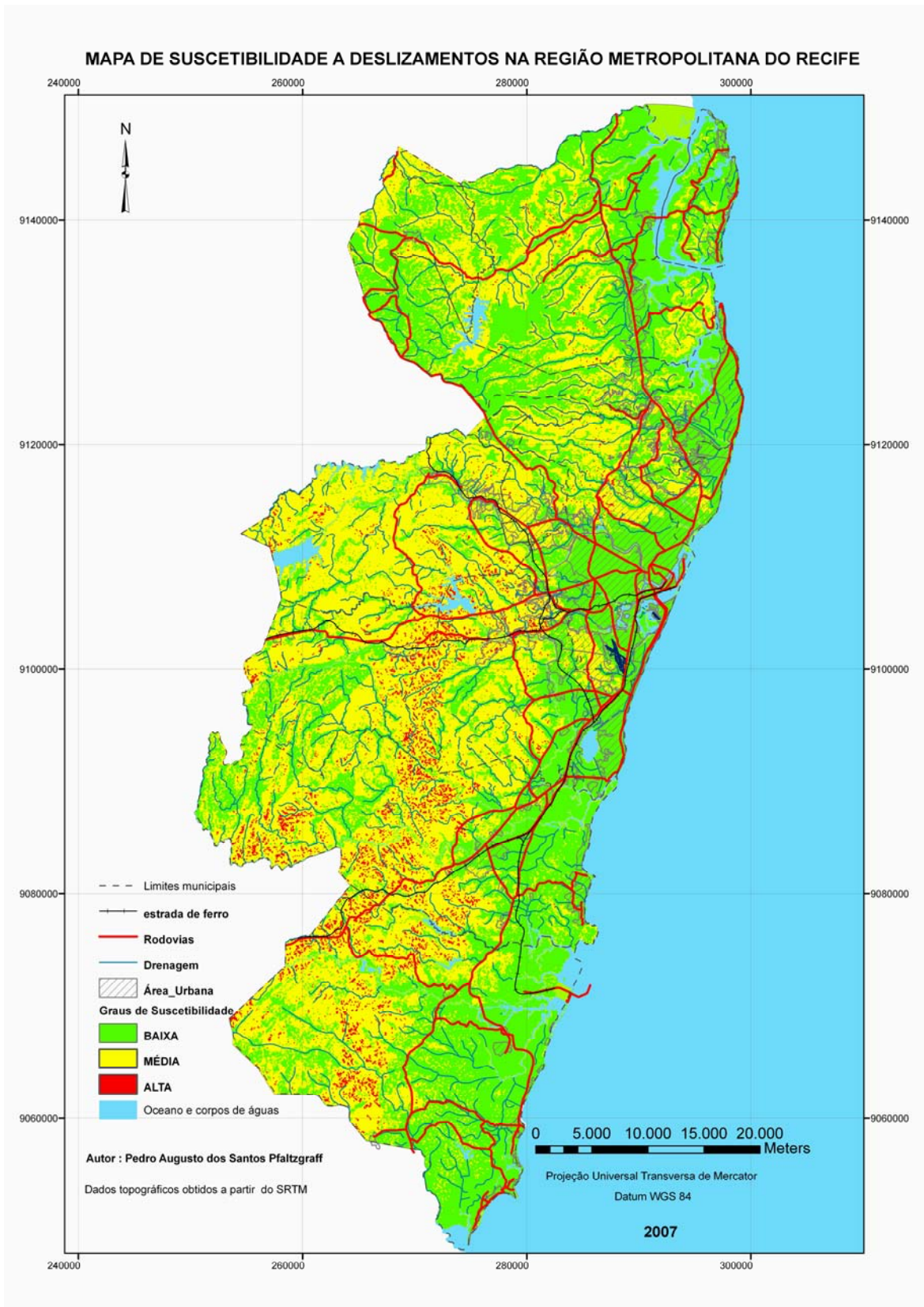


Figura 6: Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos na RMR produzido com dados do SRTM.

### 6.3 Validação do Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos

Ao final da elaboração do Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos foi feita, uma comparação entre este, e os obtidos pelo mapeamento de suscetibilidade a deslizamentos de Alheiros (1998) e pelos mapeamentos de risco realizados nos municípios do Recife e Jaboatão dos Guararapes.

É preciso que antes de realizar tal comparação para os mapas de setores de risco, sejam levados em conta os seguintes aspectos:

- . Os mapas foram gerados em escalas (1:2000) e com metodologias muito diferentes o que poderia tornar inaceitável qualquer comparação; Concentração dos mapeamentos de risco apenas nos municípios de Recife e Jaboatão dos Guararapes;

- . As áreas foram mapeadas objetivando a delimitação de setores de risco;

- . As áreas mapeadas encontram-se extremamente antropisadas com alterações na microdrenagem das encostas, diversidade de tipos construtivos e de cobertura vegetal (tipo e densidade);

- . Caracterização de 4(quatro) classes de risco, número diferente daqueles gerado na carta de suscetibilidade.

Apesar dos problemas relatados, procedeu-se a uma tentativa de comparação entre os dois tipos de mapa com o intuito principal de mostrar a utilidade prática do Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos na delimitação das áreas problemáticas para ocupação e também, como única forma de aferir (mesmo que em áreas restritas), o trabalho aqui desenvolvido.

Para comparar os dois tipos de mapas foram seguidos os seguintes passos:

- . Reclassificação dos mapas de risco mostrando 4 (quatro) classes de risco para apenas 3 (três), com a incorporação da classe Risco Muito Alto à classe Risco Alto.. Conversão dos arquivos digitais dos mapas de risco para o formato *Grid*. Subtração entre o mapa de suscetibilidade e o mapa de risco no módulo *Spatial Analysty do Arc Map 9.1*, utilizando nesta operação os mapas geoprocessados que utilizaram os dados provenientes do SRTM e também aquele que usou os dados das cartas topográficas da SUDENE.

- . Verificação do Histograma do novo mapa gerado a partir dessa subtração.

O mapa resultante dessa subtração apresenta 5 (cinco) classes, cuja análise possibilitou as seguintes observações (para aqueles mapas produzidos com dados do SRTM):

- 1) A coincidência absoluta entre áreas com a mesma classificação foi de 34,64% em Jaboatão dos Guararapes e de 78,83% na área do Recife.
- 2) A proporção de áreas com classificação maior que aquela apresentada no mapa de risco chegou a 13,52% em Recife e, 51,19% em Jaboatão dos Guararapes.
- 3) Apenas 7,57% das áreas de Recife e 14,17% das áreas de Jaboatão dos Guararapes apresentam classificações menores que aquelas obtidas pelos mapas de risco.

Essas porcentagens foram obtidas a partir das funções Intervalo Equivalente do Arc Map 9.1.

As grandes diferenças entre os resultados obtidos para as duas áreas devem-se, provavelmente, à importância maior ou menor da suscetibilidade, na composição do risco. Quando a vulnerabilidade acompanha o grau de suscetibilidade obtido no mapeamento de risco, os níveis de suscetibilidade e risco serão equivalentes e aumenta a possibilidade de coincidência absoluta entre os dois modelos. Dessa forma, por exemplo, em pontos de baixa declividade, onde se instalam construções sobre topos aplainados de aterros não compactados ou, acúmulos de materiais de antigos deslizamentos, o risco será maior que em lugares de maior declividade, mas, com solo mais compacto e com maior cobertura vegetal. Do mesmo modo, áreas de elevada declividade onde há uma ocupação menos densa, com drenagem mais ordenada ou inexistência de cobertura de solo (construção sobre a rocha), irá apresentar menor suscetibilidade a deslizamentos.

Para o mapa de suscetibilidade a deslizamentos de Alheiros, foram seguidos os mesmos passos adotados para os mapas de setores de risco com a diferença de que, neste caso, as escalas de trabalho são iguais. A subtração entre os dois mapas (mapa de suscetibilidade e o mapa de Alheiros) indicou uma coincidência de 71,72% (com dados das cartas da SUDENE) de áreas com a mesma classificação, 13,99% das áreas com classificação superior a do mapa de Alheiros e 16,65% de áreas com classificações inferiores a do referido mapa (utilizando-se o método estatístico Manual do *Arc Map 9.1*).

No caso da subtração entre os mapas de Alheiros e o geoprocessado com dados provenientes das cartas topográficas da SUDENE, a maior coincidência das classes de suscetibilidade mostrada nos resultados deve-se, provavelmente, ao uso de dados provenientes da mesma fonte.

No caso da subtração entre os mapas de risco (Jaboatão dos Guararapes e Recife) e o mapa geoprocessado com dados das cartas topográficas da SUDENE, os resultados foram sempre ligeiramente superiores àqueles obtidos com os dados do SRTM.

Uma forma de melhor visualizar esses números é mostrada na seqüência de tabelas (5 a 10) abaixo e, no conjunto de dados denominado “memória” de cálculo, em anexo.

**Tabela 5: Diferença entre os mapas de suscetibilidade de Alheiros (1998) e o mapa geoprocessado (porcentagem das classes resultantes a partir do número total de pixels) com dados do SRTM, utilizando vários métodos estatísticos.**

| CLASSE | METÓDO ESTATÍSTICO UTILIZADO |       |          |            | ÁREA |
|--------|------------------------------|-------|----------|------------|------|
|        | NB %                         | IE %  | MANUAL % | QUANTILE % |      |
| -2     | 3,46                         | 0,13  | 0,45     | 1,45       | RMR  |
| -1     | 34,51                        | 0,84  | 15,03    | 16,47      | RMR  |
| 0      | 55,69                        | 62    | 67,97    | 55,69      | RMR  |
| 1      | 6,28                         | 26,66 | 15,46    | 23,45      | RMR  |
| 2      | 0,24                         | 2,93  | 1,09     | 2,93       | RMR  |
|        |                              |       |          |            |      |

**Tabela 6: Diferenças entre os mapas de Alheiros (1998) e o mapa geoprocessado (porcentagem das classes resultantes a partir do número total de pixels) com dados das cartas topográficas da SUDENE, utilizando vários métodos estatísticos.**

| CLASSE | METÓDO ESTATÍSTICO UTILIZADO |       |          |            | ÁREA |
|--------|------------------------------|-------|----------|------------|------|
|        | NB %                         | IE %  | MANUAL % | QUANTILE % |      |
| -2     | 2,31                         | 0,21  | 0,95     | 0,95       | RMR  |
| -1     | 28,32                        | 13,78 | 19,80    | 14,37      | RMR  |
| 0      | 59,81                        | 71,72 | 67,53    | 60,46      | RMR  |
| 1      | 9,95                         | 15,65 | 13,08    | 23,59      | RMR  |
| 2      | 0,98                         | 1,0   | 1,0      | 3,18       | RMR  |
|        |                              |       |          |            |      |

**Tabela 7: Diferença entre os mapas de risco de Jaboatão dos Guararapes (JG) e o mapa geoprocessado (porcentagem das classes resultantes a partir do número total de pixels) com dados do SRTM, utilizando vários métodos estatísticos.**

| CLASSE | METÓDO ESTATÍSTICO UTILIZADO |       |          |            | ÁREA |
|--------|------------------------------|-------|----------|------------|------|
|        | NB %                         | IE %  | MANUAL % | QUANTILE % |      |
| -2     | 18,27                        | 4,85  | 4,85     | 18,27      | JG   |
| -1     | 41,81                        | 46,34 | 46,34    | 35,63      | JG   |
| 0      | 26,73                        | 34,64 | 34,64    | 29,79      | JG   |
| 1      | 12,15                        | 13,14 | 13,14    | 14,94      | JG   |
| 2      | 1,03                         | 1,03  | 1,03     | 1,37       | JG   |
|        |                              |       |          |            |      |

**Tabela 8: Diferença entre os mapas de risco de Recife (REC) e o mapa geoprocessado (porcentagem das classes resultantes a partir do número total de pixels) com dados do SRTM, utilizando vários métodos estatísticos.**

| CLASSE | METÓDO ESTATÍSTICO UTILIZADO |       |          |            | ÁREA |
|--------|------------------------------|-------|----------|------------|------|
|        | NB %                         | IE %  | MANUAL % | QUANTILE % |      |
| -2     | 0,32                         | 0,32  | 3,28     | 0,91       | REC  |
| -1     | 21,79                        | 13,27 | 41,92    | 43,00      | REC  |
| 0      | 71,49                        | 78,83 | 53,07    | 47,20      | REC  |
| 1      | 3,27                         | 7,12  | 1,71     | 0,67       | REC  |
| 2      | 0,15                         | 0,45  | 0,005    | 0,005      | REC  |
|        |                              |       |          |            |      |

**Tabela 9: Diferença entre os mapas de risco de Recife e o mapa geoprocessado (porcentagem das classes resultantes a partir do número total de pixels) com dados das cartas topográficas da SUDENE, utilizando vários métodos estatísticos.**

| CLASSE | METÓDO ESTATÍSTICO UTILIZADO |       |          |            | ÁREA |
|--------|------------------------------|-------|----------|------------|------|
|        | NB %                         | IE %  | MANUAL % | QUANTILE % |      |
| -2     | 9,83                         | 0,11  | 2,50     | 24,93      | REC  |
| -1     | 25,58                        | 13,39 | 27,73    | 70,72      | REC  |
| 0      | 59,08                        | 79,42 | 66,01    | 4,21       | REC  |
| 1      | 0,02                         | 6,58  | 3,65     | 0,096      | REC  |
| 2      | 0,092                        | 0,48  | 0,09     | 0          | REC  |
|        |                              |       |          |            |      |



**Tabela 10: Diferença entre os mapas de risco de Jaboatão dos Guararapes e o mapa geoprocessado (porcentagem das classes resultantes a partir do número total de pixels) com dados das cartas topográficas da SUDENE, utilizando vários métodos estatísticos.**

| CLASSE | METÓDO ESTATÍSTICO UTILIZADO |       |          |            | ÁREA |
|--------|------------------------------|-------|----------|------------|------|
|        | NB %                         | IE %  | MANUAL % | QUANTILE % |      |
| -2     | 27,26                        | 3,27  | 19,07    | 19,07      | JG   |
| -1     | 35,17                        | 47,28 | 39,43    | 34,28      | JG   |
| 0      | 23,93                        | 34,97 | 27,64    | 29,02      | JG   |
| 1      | 12,62                        | 13,47 | 12,84    | 16,26      | JG   |
| 2      | 0,99                         | 0,99  | 0,99     | 1,34       | JG   |
|        |                              |       |          |            |      |

Por fim, quando se procede a subtração entre o mapa geoprocessado com dados SRTM e o mapa geoprocessado com dados SUDENE (figura 7), observamos os seguintes resultados:

. 0,05% das áreas do mapa gerado com dados do SRTM apresentam valores de suscetibilidade 2 (duas) classes menor que aquelas mostradas no mapa gerado com dados das cartas da SUDENE

.24,40% das áreas do mapa gerado com dados do SRTM apresentam valores de suscetibilidade 1 (uma) classe menor que aqueles mostrados no mapa gerado com dados das cartas da SUDENE 71,89% da área dos dois mapas apresentam valores idênticos;

.3,64% das áreas do mapa gerado com dados do SRTM apresentam valores de suscetibilidade 1 (uma) classe maior que aquelas mostradas no mapa gerado com dados das cartas da SUDENE;

.0,0059% das áreas do mapa gerado com dados do SRTM apresentam valores de suscetibilidade 2 (duas) classes maior que aquelas mostradas no mapa gerado com dados das cartas da SUDENE.

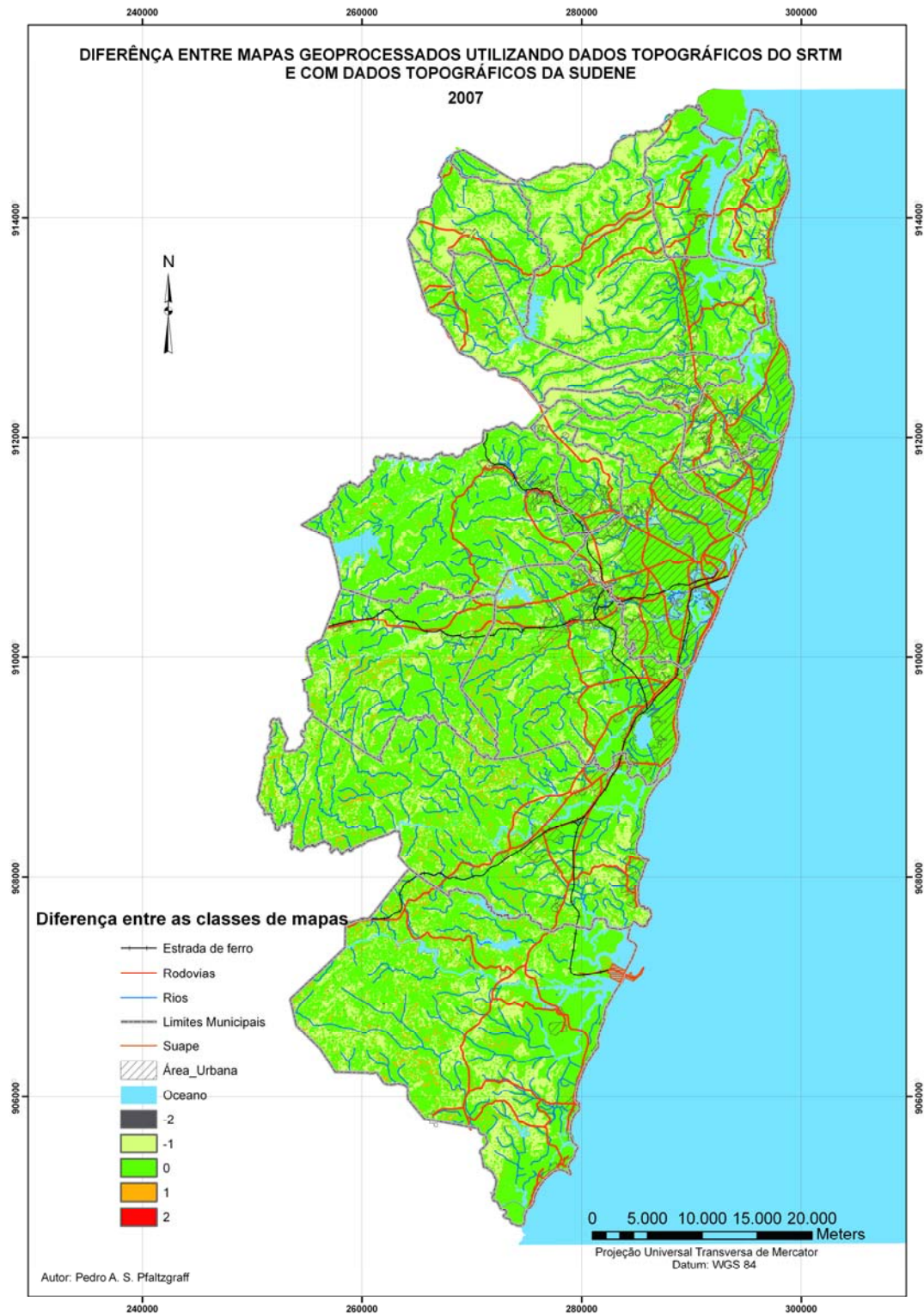


Figura 7: Diferença entre os mapas geoprocessados com dados SRTM e SUDENE



A observação do mapa resultante desta subtração mostra claramente a grande similaridade entre os dois mapas, com pontos de divergência entre eles, bastante dispersos pela área e, muito difíceis de serem notados.

Deve ser lembrado o fato de que os poucos dados de campo disponíveis, Além de concentrados em áreas densamente ocupadas por moradias, referem-se em sua maioria a deslizamentos com dimensões em torno de menos de 20 metros de largura aproximadamente. Dificilmente tais deslizamentos podem ser delimitados em fotos aéreas e imagens de satélite de média resolução como as usadas neste trabalho.

#### **6.4 Distribuição das classes de suscetibilidade nos municípios da RMR**

Uma leitura dos mapas gerados nos permite observar que:

Tanto nos mapas gerados com dados do SRTM como naqueles gerados com dados das cartas topográficas da SUDENE, as áreas da planície costeira (considerada até a cota de 10 metros. Alheiros, 1998) que se estende por todo litoral da RMR e, as áreas planas acima desta cota, mostram baixa suscetibilidade a deslizamentos (algumas exceções ocorrem no mapa elaborado com dados da SUDENE).

As áreas ocupadas pelos Tabuleiros Costeiros (na parte norte da RMR), mostram baixa suscetibilidade aos deslizamentos enquanto, aquelas onde ocorrem Tabuleiros Dissecados mostram uma predominância da suscetibilidade média com concentrações de áreas menores nas encostas, com suscetibilidade alta, no mapa elaborado com dados do SRTM. No caso do mapa elaborado com dados das cartas topográficas da SUDENE, nesta mesma área, há uma predominância da classe de suscetibilidade média, com concentração de pontos com suscetibilidade alta nas áreas de encostas dos vales das principais drenagens.

Na parte mais a oeste da RMR torna-se bastante visível a predominância das áreas com média suscetibilidade aos deslizamentos, tanto nos mapas gerados com dados do SRTM como naqueles gerados com dados da SUDENE. Neste último caso, a predominância das áreas de suscetibilidade média é ainda maior.

De uma maneira geral as áreas com alta suscetibilidade a deslizamentos, para os mapas gerados com os dois tipos de dados anteriormente citados, se distribuem numa faixa continua entre o centro e o sul da RMR, com concentrações nas áreas de tabuleiros dissecados mais

próximos ao mar (municípios de Recife, Jaboatão dos Guararapes, Camaragibe, Cabo e Ipojuca),

### 6.5 Aplicações e restrições do Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos

A existência de um Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos possibilita aos administradores e gestores governamentais, informações preciosas para o planejamento, subsidiando a implantação de loteamentos, conjuntos habitacionais, estradas e demais obras de infra-estrutura. Além disso, nas regiões já ocupadas é possível ter uma visão geral das áreas mais suscetíveis à deslizamentos, auxiliando o direcionamento de programas para redução de risco pelos órgãos públicos. Na tabela 11 é mostrada a área ocupada por cada classe de suscetibilidade nos municípios da RMR.

Na implantação de novos loteamentos, o mapa de suscetibilidade a deslizamentos apresenta grande utilidade não só na localização, mas também na definição do tamanho dos lotes (parcelamento de áreas com maiores dimensões, possibilitando diminuir o adensamento populacional e alterações na drenagem e cobertura vegetal), ajudando a indicar as áreas preferenciais para expansão urbana (residencial, industrial, comercial, de serviços e transportes) e, auxiliando na elaboração dos planos diretores municipais.

Tabela 11: Dimensão das áreas ocupadas por cada classe de suscetibilidade nos municípios da RMR (\* Segundo mapa gerado com dados do SRTM; # Segundo mapa gerado com dados das cartas topográficas da SUDENE).

| MUNICÍPIO               | Área do Município (km <sup>2</sup> ) | Baixa (%) | Média (%) | Alta (%) | Baixa (%) | Média (%) | Alta (%) |
|-------------------------|--------------------------------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|
|                         |                                      | *         | *         | *        | #         | #         | #        |
| Ipojuca                 | 527                                  | 54,42     | 42,00     | 3,57     | 37,28     | 58,12     | 4,60     |
| Cabo de Santo Agostinho | 448                                  | 43,05     | 51,86     | 5,08     | 29,35     | 65,83     | 4,80     |
| Moreno                  | 196                                  | 29,99     | 61,41     | 8,59     | 12,89     | 82,32     | 4,79     |
| Jaboatão dos Guararapes | 256                                  | 42,72     | 53,51     | 3,77     | 34,64     | 61,74     | 3,62     |
| Olinda                  | 44                                   | 62,94     | 35,81     | 1,24     | 59,43     | 40,22     | 0,34     |
| São Lourenço da Mata    | 264                                  | 15,18     | 82,64     | 2,71     | 53,83     | 45,31     | 0,86     |
| Recife                  | 217                                  | 56,29     | 40,94     | 2,77     | 55,62     | 42,81     | 1,55     |
| Camaragibe              | 55                                   | 38,26     | 58,14     | 3,59     | 4,90      | 92,92     | 2,17     |
| Paulista                | 94                                   | 53,60     | 42,06     | 4,33     | 49,60     | 49,34     | 1,05     |
| Abreu e Lima            | 126                                  | 36,13     | 62,99     | 0,87     | 31,57     | 68,19     | 0,71     |
| Araçoiaba               | 96                                   | 43,80     | 54,03     | 2,16     | 2,94      | 95,59     | 1,47     |
| Igarassu                | 306                                  | 25,64     | 69,34     | 5,01     | 21,00     | 75,38     | 3,61     |
| Itamaracá               | 65                                   | 35,53     | 60,47     | 4,19     | 52,52     | 47,37     | 0,10     |
| Itapissuma              | 74                                   | 69,21     | 30,49     | 0,30     | 64,47     | 35,17     | 0,18     |
| Total                   | 2768                                 | 49,68     | 47,80     | 2,51     | 29,83     | 66,78     | 3,40     |

Quanto às restrições, o mapa de suscetibilidade a deslizamentos da RMR tem muitas utilidades, mas também apresenta algumas restrições ao seu uso. Assim, algumas considerações devem ser colocadas. A primeira delas diz respeito à sua escala de elaboração (1:100.000), que direciona seu uso ao ordenamento e planejamento territorial.

Não é recomendado para finalidades que requerem mapas de grande escala como é o caso da determinação de áreas de risco e sim, para ajudar na visualização, em escala regional, das áreas com características naturais que possam exigir maior atenção e cuidados técnicos para sua ocupação ou mesmo, que aponte para sua não ocupação.

## CAPITULO VII - CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou como o uso de ferramentas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas (SIG) podem auxiliar na avaliação e na espacialização da suscetibilidade a movimentos de massa (deslizamentos). Como exemplo utilizou-se a Região Metropolitana do Recife (RMR) que convive com os desmoronamentos nos morros onde mora uma elevada parcela da população, em sua maioria de baixa renda.

Ao final desse trabalho foi possível mostrar a possibilidade real de gerar vários tipos de mapas temáticos em escala de 1:100.000 tais como o de curvas de nível, de declividades, de perfil das encostas e também é claro, do mapa de suscetibilidade a deslizamentos para toda RMR, usando as informações contidas nas imagens SRTM, de satélites e em arquivos digitalizados das cartas topográficas da SUDENE.

As imagens de satélite e do radar SRTM utilizadas estão disponíveis, gratuitamente, na internet o que torna tais ferramentas acessíveis de forma mais econômica às prefeituras e órgãos de administração pública. Além disso, trabalhos similares também podem ser realizados, utilizando o *software* SPRING de distribuição gratuita.

Todos os dados planimétricos e topográficos extraídos da imagem SRTM mostraram-se compatíveis com os dados fornecidos pelas cartas topográficas elaboradas pela SUDENE.

Foi encontrado na escolha dos pesos de cada tema uma grande dificuldade já que, não havia um registro documental dos deslizamentos pretéritos na RMR para tornar possível realizar uma retro análise desses eventos. Dessa forma, foi necessário admitir que cada tema possuía a mesma importância e que apenas os atributos constituintes do tema teriam pesos diferentes na suscetibilidade aos deslizamentos (com base na experiência do autor e de suas orientadoras). Adotando essa premissa, utilizou-se o mapa de geologia, por exemplo, com o mesmo peso dos demais mapas mas, as diversas litologias que o compõem apresentam pesos diferentes tais como arenitos e siltitos inconsolidados apresentando peso maior que granitos são.

Os mapas gerados a partir da metodologia aqui mostrada apresentaram boa correlação com o mapa produzido por Alheiros em 1998, único mapa de suscetibilidade existente até o momento para a RMR e que utilizou métodos tradicionais para o manuseio dos dados, além disso, apresentou também boa correlação com o mapeamento de setores de risco dos municípios de Recife e Jaboatão dos Guararapes.

A maior coincidência entre os mapas de risco dos municípios de Recife e Jaboatão dos Guararapes e o mapa geoprocessado, se deu quando foi utilizado na reclassificação deste, o método estatístico do intervalo equivalente.

Entretanto no caso onde se processou a diferença entre o mapa de suscetibilidade de Alheiros (1998) e o geoprocessado, o maior grau de coincidência entre estes se deu com a utilização do método estatístico Manual fornecido pelo *software ArcMap 9.1* e utilizando dados da *SUDENE*.

A maior coincidência entre áreas de igual suscetibilidade entre os mapas geoprocessados e os mapas de risco existentes se deu, a partir de dados provenientes das imagens SRTM, atingindo 78,83% de coincidência para o município do Recife.

Por fim, uma comparação entre os mapas geoprocessados com dados SRTM e SUDENE apresentou uma coincidência de 71,89%.

No tocante a área ocupada por cada classe de suscetibilidade foi observado que 46,68% (com dados SRTM) ou 29,83% (com dados SUDENE) da RMR são ocupadas por áreas de baixa suscetibilidade aos deslizamentos. A classe de suscetibilidade média aos deslizamentos ocupa 47,80% (com dados SRTM) ou 66,78% (com dados SUDENE) da RMR enquanto, 2,51% (com dados SRTM) ou 3,41% (com dados SUDENE) ocupam o restante da área.

Os municípios do Cabo de Santo Agostinho e de Moreno possuem as maiores porcentagens de áreas de alta suscetibilidade aos deslizamentos enquanto, Itamaracá e Itapissuma apresentam as menores porcentagens.

A utilização de imagens de satélite com maior resolução espacial e modelos digitais de terreno de maior precisão e também, um banco de dados georreferenciados com registros detalhados dos tipos, dimensões e localização, poderia aumentar significativamente o grau de precisão de futuros trabalhos desse tipo inclusive, possibilitando a avaliação mais precisa do peso de cada variável (tema) na suscetibilidade do terreno. Além disso, um estudo aprofundado dos índices pluviométricos bem como, das características de saturação e do índice de cisalhamentos dos solos da RMR, tornariam mais preciso o grau de importância da chuva como agente deflagrador de deslizamentos conforme sua atuação sobre cada condicionante do meio físico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA Hidroweb. Disponível em: < [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br) > Acesso em: 21.jun. 2007.

ALEOTTI, P. et al. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. **Bull. Eng. Geol. Env.**, v.58, p.21-44, 1999.

ALHEIROS, M. M.; MABESOONE J. M. Origem da Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 18, n.4, p. 476-482, dez. 1988.

ALHEIROS, M. M. **Riscos de escorregamentos na Região Metropolitana de Recife**. Recife, 1998. 120p. Tese (Doutorado em Geociências, Área de Concentração em Geologia Sedimentar)- Universidade Federal da Bahia. Instituto de Geociências, 1998.

ALHEIROS, M. M. **Risco geológico**. Recife. Universidade Federal de Pernambuco, 2004. Notas de aula.

ALHEIROS, M. M. Planos Municipais de Riscos na Região Metropolitana do Recife: Sistema de Geoinformação para Mapeamento e Gestão de Risco. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE CONTROLE DE RISCOS EM ASSENTAMENTOS PRECÁRIOS NAS ENCOSTAS URBANAS. 2, 2006, Brasília. Brasília: Ministério das Cidades, 2006. Disponível em: [www.cidades.gov.br](http://www.cidades.gov.br) Acesso em: 10 jul. 2006.

AMADESI, E.; VIANELLO, G. Nuova guida alla realizzazione di una carta di stabilita dei versanti. **Mem. Soc. Geol. It.**, v.19, p.53-60, 1978.

AMARAL, C. Experiências na análise de risco geológico no Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 9, 1999, São Pedro (SP). **Boletim de resumos: Panorama da Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1999. 110p. p.84.

AMARAL, C; FEIJÓ, R. L. Aspectos ambientais dos escorregamentos em áreas urbanas. In: GUERRA, A. J. T.; VITTE, A. C. (Orgs.) **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p.193-223.

ARAÚJO, T. N; PIRES, I. O. [CD-ROM] O uso das geotecnologias como ferramenta de apoio à gestão de unidade de conservação. Estudo de caso: APA Guapimirim, Rio de Janeiro, Brasil. In: SIMPÓSIO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 1, 2004, Recife. **Anais**. Recife: UFPE, 2004. 1 CD-ROM.

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1, 1992, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: ABMS/ABGE, 1992. p.721-733.

AUGUSTO FILHO, O. *Cartas de risco a escorregamentos*: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilha Bela. São Paulo, 1994. 167p. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1994.

AUGUSTO FILHO, O. *Acess to methods in landslide risk mapping by applying GIS technologies and their possible use for insurance policies. Coop. Progm.* São Paulo: IPT/USGS/CNPq., 1998. 29p.

AUGUSTO FILHO, O. Riscos geológicos urbanos. In: SIMPOSIO DE GEOLOGIA DA AMAZONIA, 6, 13-17 jun. 1999, Manaus. **Boletim de resumos expandidos**. Manaus: SBG - Núcleo Norte, 1999. 596 p. il. p.1-9

BARROS, R. S. de; CRUZ, C. B. M; REIS, R. B; ROCHA, E. F. da; BARBOSA, L. G. [CD-ROM] Avaliação do modelo digital de elevação do SRTM na Ortoretificação de imagens SPOT4 estudo de caso: Angra dos Reis-RJ. In: SIMPÓSIO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 1, 2004, Recife. *Anais*. . Recife: UFPE, 2004. 1 CD-ROM.

BERTAGNA, S. M. A.; RIEDEL, P. S. Elaboração de carta de suscetibilidade ao escorregamento através de Sistema de Informação Geográfica: Média - Baixa bacia do rio Perequê (Serra do Mar-SP). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL. 3, Florianópolis, 1998. *Anais*. Florianópolis: ABGE, 1998. p.300-313.

BITAR, O.Y. ; CERRI, L. E. S. ; NAKAZAWA, V.A. . Carta de risco geológico e carta geotécnica: uma diferenciação a partir de casos em áreas urbanas no Brasil. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE RISCO GEOLÓGICO URBANO, 2, 1992, Pereira. *Anais*. Pereira : CARDER/INGEOMINAS/EAFIT/AGID/IUGS/IAEG/ONAD, 1992. p. 35-41.

BRASIL. Ministério das Cidades. *Capacitação em mapeamento e gerenciamento de risco*. Disponível em: [www.cidades.gov.br](http://www.cidades.gov.br) > Acesso em: 15 ago. 2006.

BRASIL. Ministério das Cidades [CD-ROM] *Programa de controle de riscos em encostas urbanas*. Brasília, 2004. 1CD-ROM

CALIJURI, M. L. et al. Ferramenta de localização e caracterização geotécnica de áreas de risco. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 5, 2004, São Carlos/SP. *Anais*. São Carlos: ABGE, 2004. p 173.

CARRARA, A .Landslide hazard mapping by statistical methods. A “black box” approach. In: WORKSHOP ON NATURAL DISASTER IN EUROPEAN MEDITERRANEAN COUNTRIES. Perugia – Italy,.1988. p. 205-224.

CARREGÃO, D. Estudo de movimentações de encostas aplicado ao perfil de intemperismo em ambientes tropicais. In: CONGRESSO GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 8, 1996, Rio de Janeiro,. *Anais*. Rio de Janeiro: ABGE, 1996. 3v. v.2 p.415-427.

CARVALHO, C.; HACHICH, W. Gerenciamento de riscos geotécnicos em encostas urbanas. **Solos e Rochas**, v.20, n.3, p.179-187, 1997.

CARVALHO, E. T. *Carta geotécnica de Ouro Preto*. Lisboa, 1982. 120p. Dissertação (Mestrado), Universidade de Lisboa, 1982.

CARVALHO, C. M. de; RIEDEL, P. S. Técnicas de geoprocessamento aplicadas ao estudo da suscetibilidade há escorregamentos translacionais dos polidutos de Cubatão-SP. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, São Paulo. *Anais*. São Paulo: INPE, 2005. p.2901-2908.

CERRI, L. E. S. *Riscos geológicos associados a escorregamentos*: uma proposta para a prevenção de acidentes. Rio Claro: UNESP, 1993. 197p. il. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente)-Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1993.

CONDEPE/FIDEM - Fundação de Desenvolvimento Municipal. *Manual de ocupação dos morros*. Recife, 2002. 335p.

CORREIA, D. J. et al. Contribuição das imagens CBERS na atualização do mapeamento sistemático Brasileiro na Escala 1:100.000. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, São Paulo. *Anais*. São Paulo: INPE, 2005. p.873.

CPRM – Serviço geológico do Brasil. *Sistema de Informações Geoambientais da Região Metropolitana do Recife*. Recife, 2001. 119p.

CREA/RJ - Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura. Alerta nas encostas. Seminário em Angra discute propostas para evitar desabamentos e mortes em favelas. **CREA RJ em Revista**, n. 55, p.21– 23, 2005

CREPANI, E; MEDEIROS, J. S. de. Imagens CBERS+Imagens SRTM+Mosaicos Geo Cover LANDSAT em Ambiente SPRING e TERRA VIEW: Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Gratuitos Aplicados ao Desenvolvimento Sustentável. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, São Paulo. *Anais*. São Paulo: INPE, 2005. p.2637.

DAVIS JR., .C. As múltiplas representações em bancos de dados geográficos. Disponível em: <[www.fatorgis.com.br](http://www.fatorgis.com.br)>. Acesso em: 21 abr. 2000.

DIAS, F. P.; HERMANN, M. L. P. de Suscetibilidade a deslizamentos: estudo de Caso no Bairro de Saco Grande, Florianópolis-SC. **Caminhos de Geografia**, v.3, n.6, p.57-73, 2002.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de massa uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs.). *Geomorfologia e meio ambiente*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p.123-194.

FERNANDES, N. F.; ALMEIDA, J. C. H. de Processos endogenéticos na formação do relevo. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs.). *Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p.57- 101.



FERRANTE, J. E. T. *Mapeamento geotécnico regional da bacia do alto Jacaré-Guaçú – SP: com base nas aplicações de técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica: a contribuição metodológica*. São Paulo, 1996. 204p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1996.

FIDEM - Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife. *Mapeamento temático da cobertura vegetal*. Recife, 1979. Escala 1:100.000

FREIRE, E. S. de M. Movimentos coletivos de solos e rochas e sua moderna sistemática. *Construção*, v.8, n.95, p.10-18, 1965.

FUKUOKA, M. Landslides associated with rainfall. *Geotechnical Engineering*, v.11, p.1-29, 1980.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs.). *Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p.102-120.

GUIDICINE, G.; IWASA, O. Y. Tentative correlation between rainfall and landslides in a humid tropical environment. *Bulletin International Association Engineering Geology*, n.6. p.13-20, 1977.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. *Estabilidade de taludes naturais e de escavação*. São Paulo: Edgard Blucher, 1984. 194p.

GUIMARÃES, R. F. et al. Aplicação do modelo Shalstab para determinação de áreas de risco a escorregamentos rasos em regiões tropicais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL. 3, Florianópolis, 1998. *Anais*. Florianópolis: ABGE, 1998. p. 205.

GUSMÃO FILHO, J. A; ALHEIROS, M. M. Estudo das encostas ocupadas do Recife. In: PAN AM SYMPOSIUM OF LANDSLIDES, COBRAE, 2nd., 1997, Rio de Janeiro. *Anais*. Rio de Janeiro: IAEG/ABMS, 1997. p.919.

HEINE, U. H. Deslizamentos em uma área típica de tálus no estado da Guanabara. In: APGA, SIMPÓSIO DE GEOLOGIA APLICADA, 1, 1969, São Paulo. *Anais*. São Paulo: APGA, 1969. v. 1 tema 2 p.9.

HUTCHINSON, J. N. Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hidrology: Gen. Report. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM. LANDSLIDES, 5, 1988, Lausanne. *Proceeding*. Lausanne, 1988. v.1 p.3-35.

IBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2000**. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/default\\_censo\\_2000.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/default_censo_2000.shtm)> Acesso em: 04 jul. 2002.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO [CD-ROM]. *Mortes por escorregamentos no Brasil (1998 - 2005)*. São Paulo, 2005. 1 CD-ROM

ISDR - INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. Hazard classification. In: -----*Disaster risk reduction 1994-2004*. Geneva, 2005.. 1/3 CD-ROM

ITGE-INSTITUTO TECNOLÓGICO E GEOMINERO DE ESPAÑA. Tipologia y desarrollo de los movimientos. In: -----*Manual de ingeniería de Taludes*. Madrid, 1991. cap.2, p.7-39.

JARDIM DE SÁ, E. F. et al. [CD-ROM] Tectônica Pós-Rift na Sub Bacia Paraíba, Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 42, 17-22 out. 2004, Araxá-MG. **Anais: Recursos Minerais e Desenvolvimento Socioeconômico**. Araxá: SBG. Núcleo de Minas Gerais, 2004. 1 CD-ROM.

LEMOS, M. C.; SOUZA, S. F. DE; ROCHA, R. S. da [CD-ROM] Avaliação da qualidade dos dados altimétricos derivados do Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM): Resultados preliminares. In: SIMPÓSIO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 1, 2004, Recife. **Anais**. Recife: UFPE, 2004. 1 CD-ROM.

LEROI, E. Landslide Hazard-risk maps at different scales: objectives, tools and developments. In: ISL'96, INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LANDSLIDES, 7, 17-21 June 1996, Trondheim-Norway. Trondheim-Norway: IAEG, 1996. p.35-42

LIMA FILHO, M. F.; BARBOSA, J. A.; SOUZA, E. M. de; NEUMANN, V. H. A estratigrafia da Bacia Paraíba: Uma reconsideração. **Estudos Geológicos**, n.13, p.89-108, 2003. .

LOPES, S. F.; SANTOS, M. L.; GASPARETO, N. L. Análise de metodologias de mapeamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 10, 2000, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geografia Física, 2000. p.606-615.

LOPEZ, R. S.; MÁRQUEZ, R. M.; LARA, L. F.U; CUERVO, G. V. C.D.M.B/Sociedad - Colombiana de Geotecnia. Simpósio de Control de Erosión.1. Disponível em: <http://www.ideam.gov.co/biblio/paginaabierta/Modelo-prognosticoFMR.pdf>.> Acesso em: 12 jul. 2007.

MABESOONE, J. M.; ALHEIROS, M. M. Origem da bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba. **Revista Brasileira de Geociências**, v.18, n.4, p.476-482, dez. 1988.

MELGAÇO, M. L. de; SOUZA FILHO, C.R. de Comparação entre modelos digitais de elevação por sensores óticos e radar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia [CD ROM] **Anais**. Goiânia: INPE, 2005. 1 CD-ROM p.1215.

MENEZES, V. G.de A pluviosidade e os escorregamentos de taludes na zona urbana do Recife. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5, 1987, São Paulo. **Anais**. São Paulo: ABGE, 1987. 3v v2 p.347-358

METERNICHT, G. ; HURNI, L.; GOGU, R. Remote sensing of landslides: An analysis of the potential contribution to geo-spatial systems for hazard a assessment in mountainous environments. **Remote Sensing of Environment**, v.98, p.284-303, 2005.

NASA. Centro de Estudos de Nasa *Guia para la elaboracion de estudios del medio fisico*. Disponível em: <<ftp://edcsgs9.usgs.gov/pub/data/srtm/>> Acesso em: 10 nov. 2004.

NASCIMENTO, M. A. L. DO; SOUZA, Z. S. Magmatismo Ácido na Bacia de Pernambuco, Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 42, 17-22 out. 2004, Araxá-MG. [CD-ROM] **Anais: Recursos Minerais e Desenvolvimento Socioeconômico**. Araxá: SBG. Núcleo de Minas Gerais, 2004. 1 CD-ROM.

NÓBREGA, R. P.; SOUZA FILHO, C. R. Análise espacial guiada pelos dados (data-driven): o uso de redes neurais para a avaliação do potencial poli mineralico na região centro leste da Bahia. *Rev. Bras.Geoc.*, v.33, n 2, p.111-120, jun. 2003.

NOGUEIRA, F. R. *Gerenciamento de riscos ambientais associados a escorregamentos: Contribuição às políticas públicas municipais para áreas de ocupação subnormal*. São Paulo, 2002. 260p. Tese (Doutoramento). Instituto de Geociências, Universidade Estadual Paulista, 2002.

NUNES, A. J. da C. Landslides in soils of decomposed rock due to intense rainstorms. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS. AND FOUNDATION. ENGINEERING., 7, 1969, Mexico. **Proceeding**. Mexico: ISSMFE, 1969. p. 547–554.

OGURA, A T. Análise de riscos geológicos em planos de defesa civil. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA – ABGE. *Curso de geologia aplicada ao meio ambiente*. São Paulo: Oficina de Textos, 1995. p.203-205.

OLIVEIRA, A M. dos S.; BRITO, S. N. A de. Processos de dinâmica superficial. In: ASSOCIAÇÃO Brasileira de Geologia de Engenharia – ABGE. *Geologia de engenharia*. São Paulo: Oficina de Textos, 1996. p:131.

ONODERA, T.; YOSHINAKA, R.; KAZAMA, H. Slope failures caused by heavy rainfall in Japan. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION ENGINEERING GEOLOGY. 2, 1974, São Paulo. **Proceeding**. São Paulo, ABGE/IAEG, 1974. v.11 p.1–10.

PEJON, O. J. *Estudos geológico-geotécnicos da região urbana de Araraquara-SP*. São Carlos, 1987. 150p. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1987.

PICHLER, E. Aspectos geológicos dos escorregamentos de Santos. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, v.6, n.2, p.61-77, set. 1957.

PRANDINI, F. L. et al. Cartografia geotécnica: a aplicação como pressuposto. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2, 1991, São Paulo. **Anais...** São Paulo, SBG/SP-RJ, 1991. p.329-336.

RECIFE (PE). Prefeitura da Cidade do Recife. **Prestação de contas**. Recife, 2004. 40p.

ROCHA, D. E. G. A. da **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: carta geológica, carta metalogenética / previewal. Escala 1:100.000 (Folha SC 25-V-A-II Vitória de Santo Antão), Estado de Pernambuco**. Brasília: DNPM/CPRM, 1990. 112 p.

SANTOS, P. R. A. dos; GABOARDI, C; OLIVEIRA, L. C. Avaliação da precisão vertical dos modelos SRTM para a Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 16-21 abr. 2005, Goiânia. **Anais**. Goiânia: INPE, 2005. p. 4473-4480.

SIGNEMARTIN, C. L. ; FULFARO, V. J. . Geologia de áreas urbanas: O exemplo de Ribeirão Preto, SP.. In: 3o Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 1981, Itapema, SC.. Anais do 3o Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. São Paulo, SP. : Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - ABGE., 1981. v. 02. p. 389-408.

SHARPE, C. F. S. **Landslide and Related Phenomena**. Oxford: University Press, 1938. 451p.

SILVA, A. de B. **Sistema de Informações Georeferenciadas: conceitos e fundamentos**. São Paulo: Editora da Unicamp, 1999. 236p.

SILVA, B. S. da; BITTENCOURT, T. C. C.; MENEZES, P. M. L. de Modelo digital de terreno como recurso na geologia. In: SIMPÓSIO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 1, 2004, Recife. **Anais**. Recife: UFPE, 2004. 1 CD-ROM.

SOBREIRA, F. G. Cartas geotécnicas em áreas sujeitas a escorregamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 5, 2004, São Carlos. Anais. São Paulo : ABGE, 2004. v. 1. p. 151-153

SOBREIRA, F. G. Processos geológicos e análise de riscos em Mariana, Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA. 4, 2001, Brasília. Anais. Brasília: ABGE, 2001. 1 CD-ROM

SOUZA FILHO, C. R.; CROSTA, A. P; AZEVEDO, F.; BRODIE, C. Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis. **Int.Journal Remote Sensing**, v.24, n.21, p.4233-4240,2003.

SUAREZ D.,J. La vegetación em la estabilización de deslizamientos . In:, PAN-AM. SYMPOSIUM OF LANDSLIDES, 2: 1997, Rio de Janeiro / COBRAE, 2, 1997, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: IAEG/ABMS, 1997. p.739-746

TATIZANA, C. et al. Análise da correlação entre chuvas e escorregamentos na Serra do Mar, Município de Cubatão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5, 1987, São Paulo. **Anais**...São Paulo: ABGE, 1987. v.2, p.225-236.

TOMINAGA, L. K. et al. Avaliação de riscos geológicos para aplicação em instrumentos de gestão ambiental. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA. 4, 2001, Brasília. Anais. Brasília: ABGE, 2001. 1 CD-ROM

TOMINAGA, L. K. Cartas de perigo de escorregamentos e de risco a pessoas e bens do Litoral Norte de São Paulo: Conceitos e Técnicas. In: ABGE, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL. 5, 2004, São Carlos, (SP). [CD-ROM] Anais. São Paulo: ABGE, 2005. 1 CD-ROM p 205.-216

VALERIANO, M. de M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.539-546, 2003.

VARGAS, M. Estabilização de taludes em encostas de gneisses decompostos. In: CON- . GRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS, 3, Belo Horizonte, 1966. *Anais*, Belo Horizonte, ABMS, 1966. v.1, il. p.1- 24

VARGAS, M.; PICHLER, E.: Residual soil and rock slides in Santos (Brazil). In: PAN-AMERICAN CONFERENCE ON SMFE, 4, 1957, São Paulo. **Proceeding**. São Paulo: ABMS, 1957. v.6 p 394-398.

VARNES, D. J. Landslides types and process. In ECKEL, E. B. (ed) **Lanslides and engineering practice**. Washington: National Academy of Science , 1958. p.20-47.

VARNES, D. J. Slope movement types and process. In: SCHUSTER, R. L., KRIZEK, R. J. (Eds.), **Landslides-analysis and control...**, Washington: National Academy of Sciences, 1978. p.12-33. (Transportation Research Board Special Report 176)

VARNES, D. J. **Landslide hazard zonation: a review of principles and practice**. Paris: UNESCO, 1984. 63p.

VEDOVELLO, R.; MATTOS, J. T. Utilização de unidades básicas de compartimentação (UBCs) como base para definição de unidades geotécnicas. Uma abordagem a partir de sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL. 3, Florianópolis, 1998. **Anais**. Florianópolis: ABGE, 1998. 1 CD-ROM

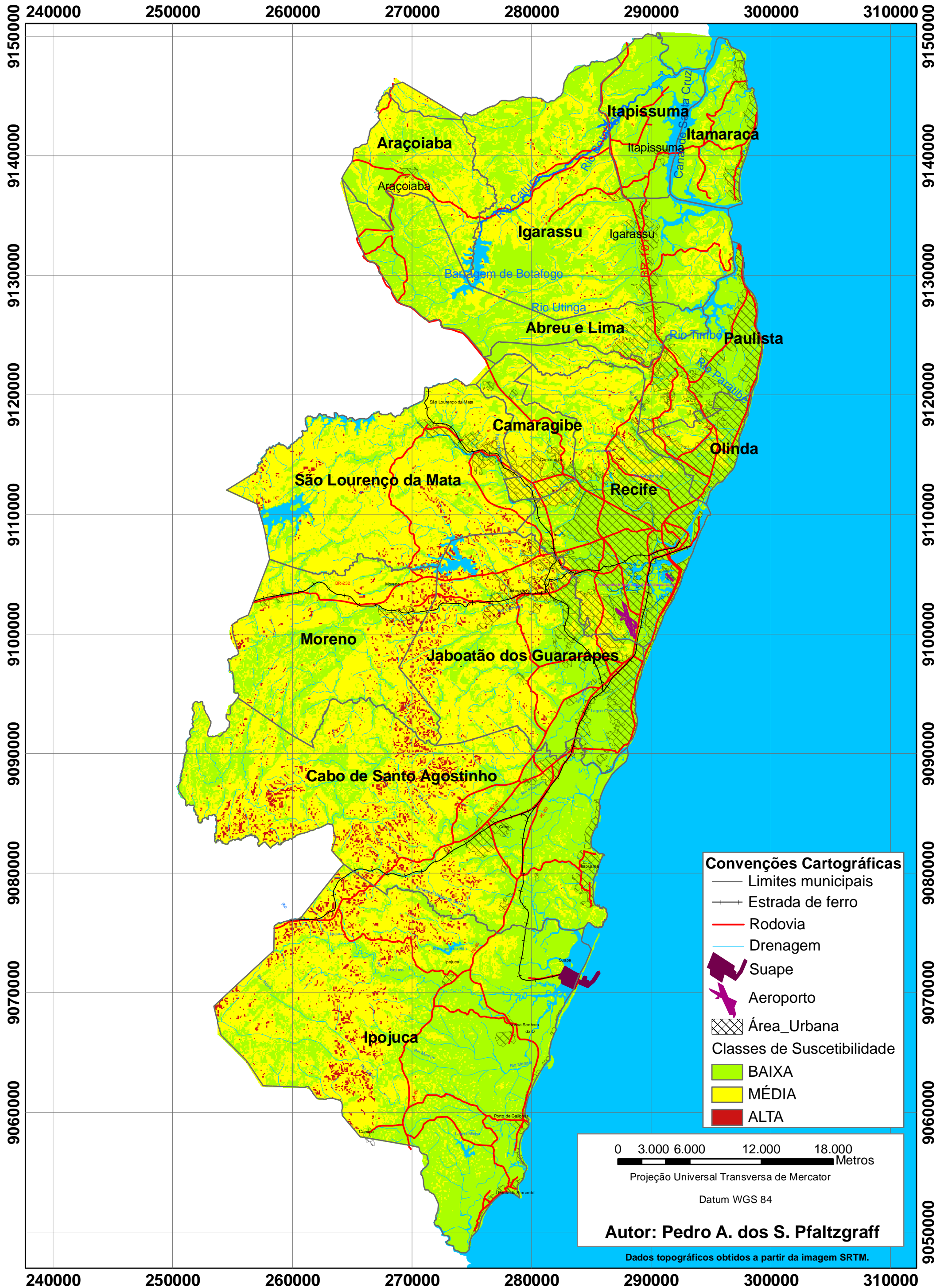
ZUQUETTE, L. V. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras**. São Carlos, 1987. 673p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil - Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1987

ZUQUETTE, L. V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamento e guia para elaboração**. São Carlos, 1993. 368p. Tese (Livre Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1993.

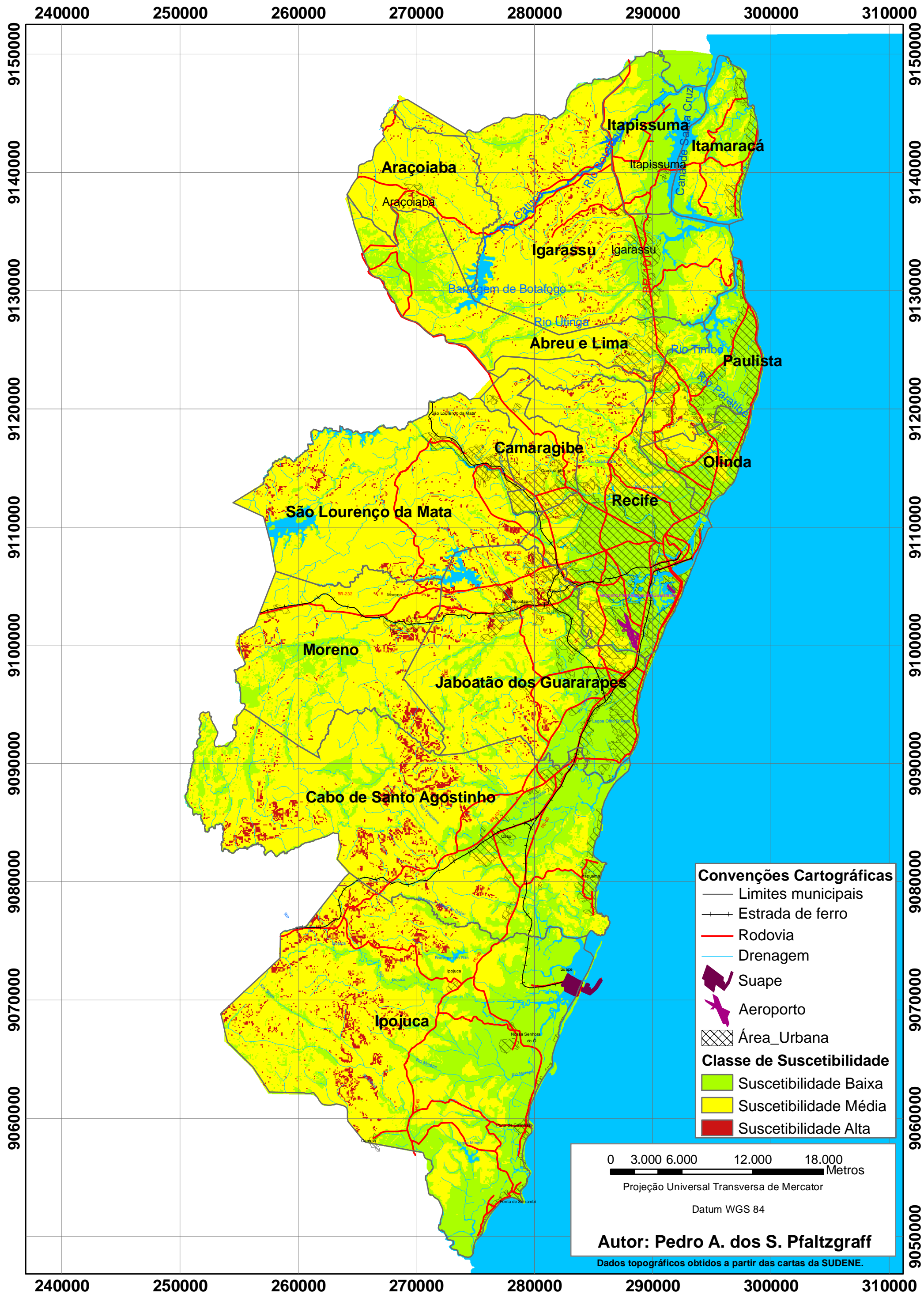
ZUQUETTE, L. V. **Mapeamento geotécnico preliminar na região de São Carlos**. São Carlos, 1981. 120p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade do Estado de São Paulo, 1981.



# MAPA DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS DA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE



# MAPA DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS DA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE





# Bacias Hidrográficas da Região Metropolitana do Recife

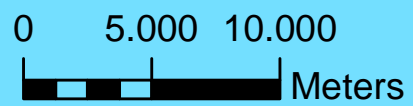
2007

# 3



## Convenções Cartográficas

- Rodovias
- estrada de ferro
- Municípios
- Suape
- Rios
- Limite das bacias hidrográficas
- Área de Preservação de Mananciais
- Área Urbana
- Oceano



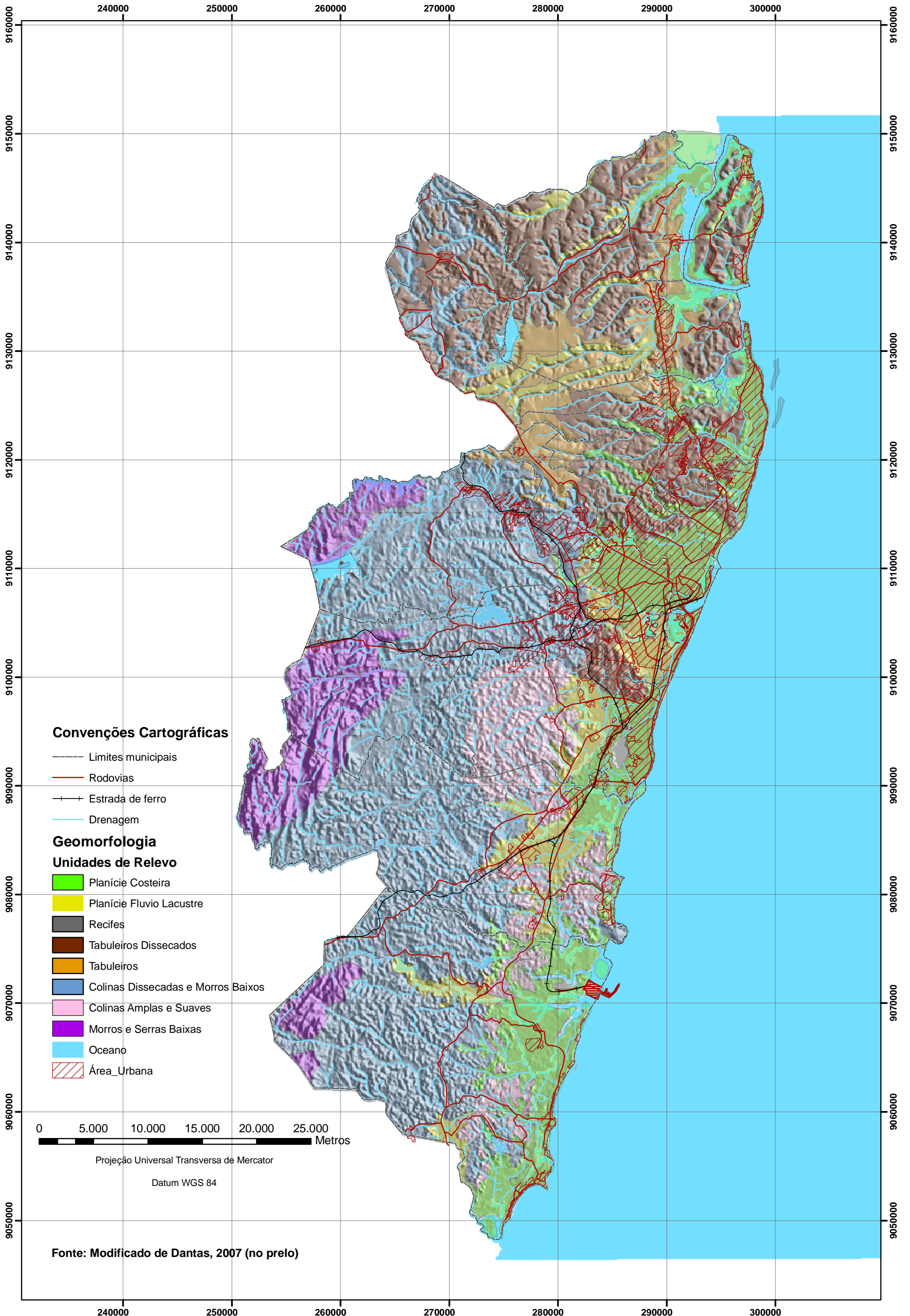
Projeção Universal Transversa de Mercator

Datum WGS 84

Fonte: Moreira (in CPRM,2003)



# MAPA GEOMORFOLÓGICO DA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE





# MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE

237376

247376

257376

267376

277376

287376

297376

307376

2007

9152998  
9142998  
9132998  
9122998  
9112998  
9102998  
9092998  
9082998  
9072998  
9062998  
9052998  
9042998

9152998  
9142998  
9132998  
9122998  
9112998  
9102998  
9092998  
9082998  
9072998  
9062998  
9052998  
9042998

## Convenções Cartográficas

- +— Estrada de ferro
- Rios
- Rodovias
- Suape
- ▨ Área Urbana

## Geologia

- Dep. Aluvionares
- Sedimentos de praia
- Recifes de Arenito
- Sedimentos de mangues
- Sed. Flúvio-lagunares
- Terr. Marinhas Holocênicas
- Terr. Marinhas Pleistocênicas
- Gr Barreiras
- Fm Maria Farinha
- Fm Algodoads
- Fm Gramame
- Fm Beberibe
- Fm Estiva
- Fm Ipojuca
- Fm Cabo
- Quartzodioritos
- Monzonitos e granodioritos
- Sienitos
- Leucogranitos
- Complexo Vertentes
- Compl. Bélem S Fco
- Compl. Gnáissico Migmatítico
- Oceano
- Falha interpretada p. radar
- Falha normal
- Falha normal encoberta
- ..... Falha normal inf.
- Falha transc. encoberta
- Falha transcorrente
- ..... Fratura interp. p. radar
- Lineamento estrutural
- ∧ Z. cisalh. transc. dextral
- ∨ Zona cisalhamento
- Limites Municipais

0 2500 5000 10000 15000 20000 Metros

Escala 1:100.000

Projeção Universal Transversa de Mercator

Datum:WGS 84

Autor: CPRM 2003

237376

247376

257376

267376

277376

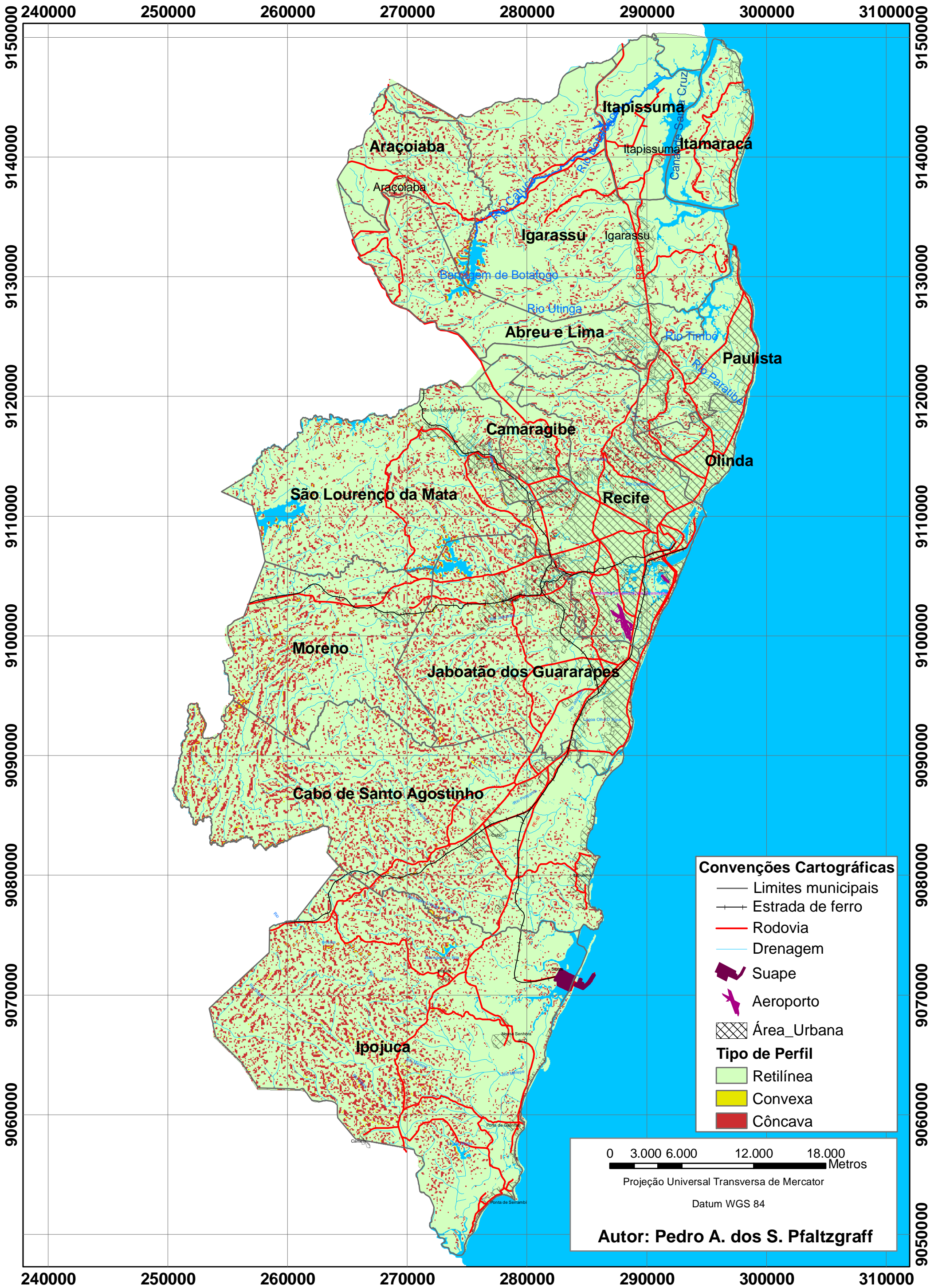
287376

297376

307376

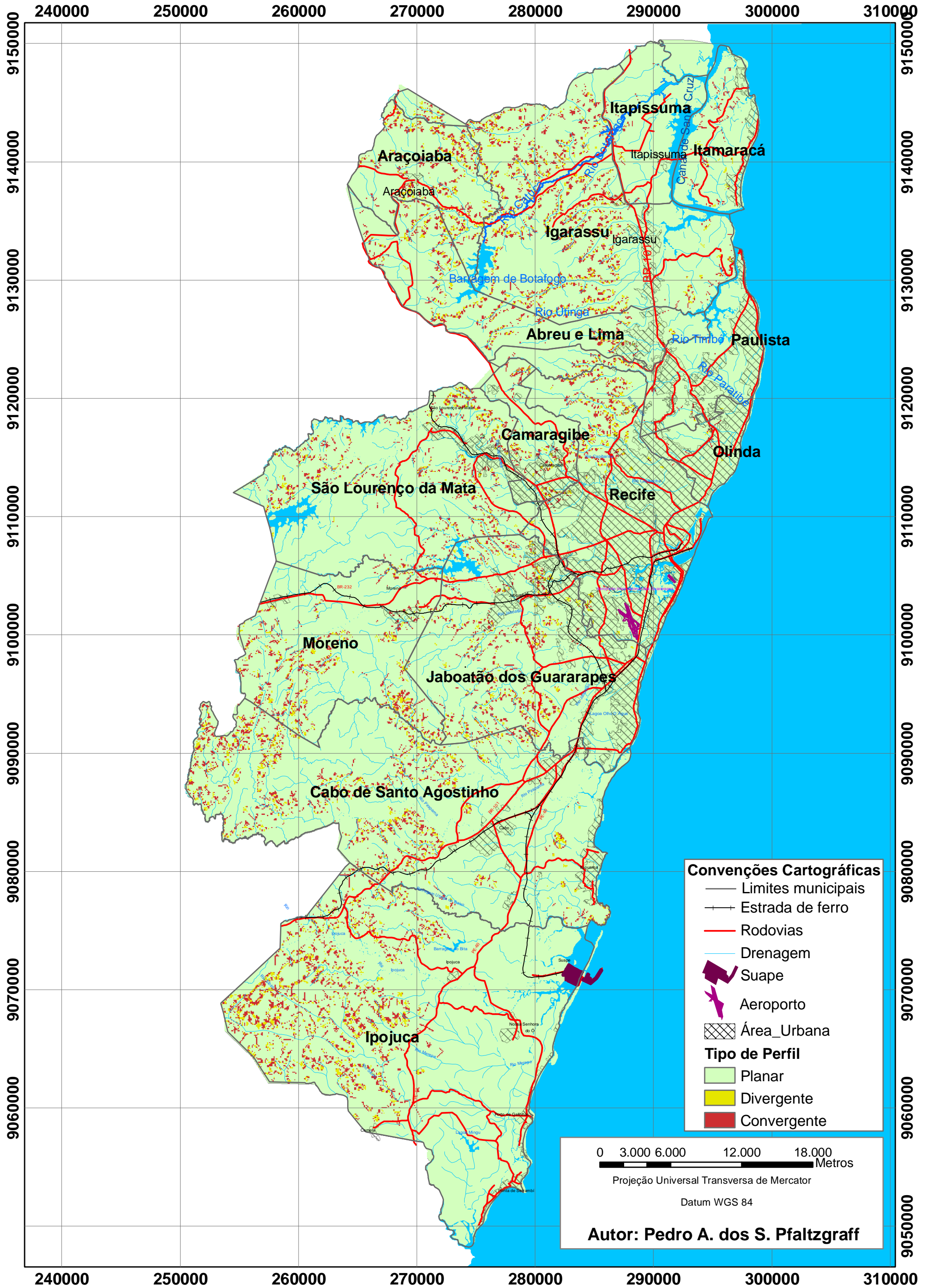


# MAPA DO PERFIL VERTICAL DE ENCOSTAS DA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE





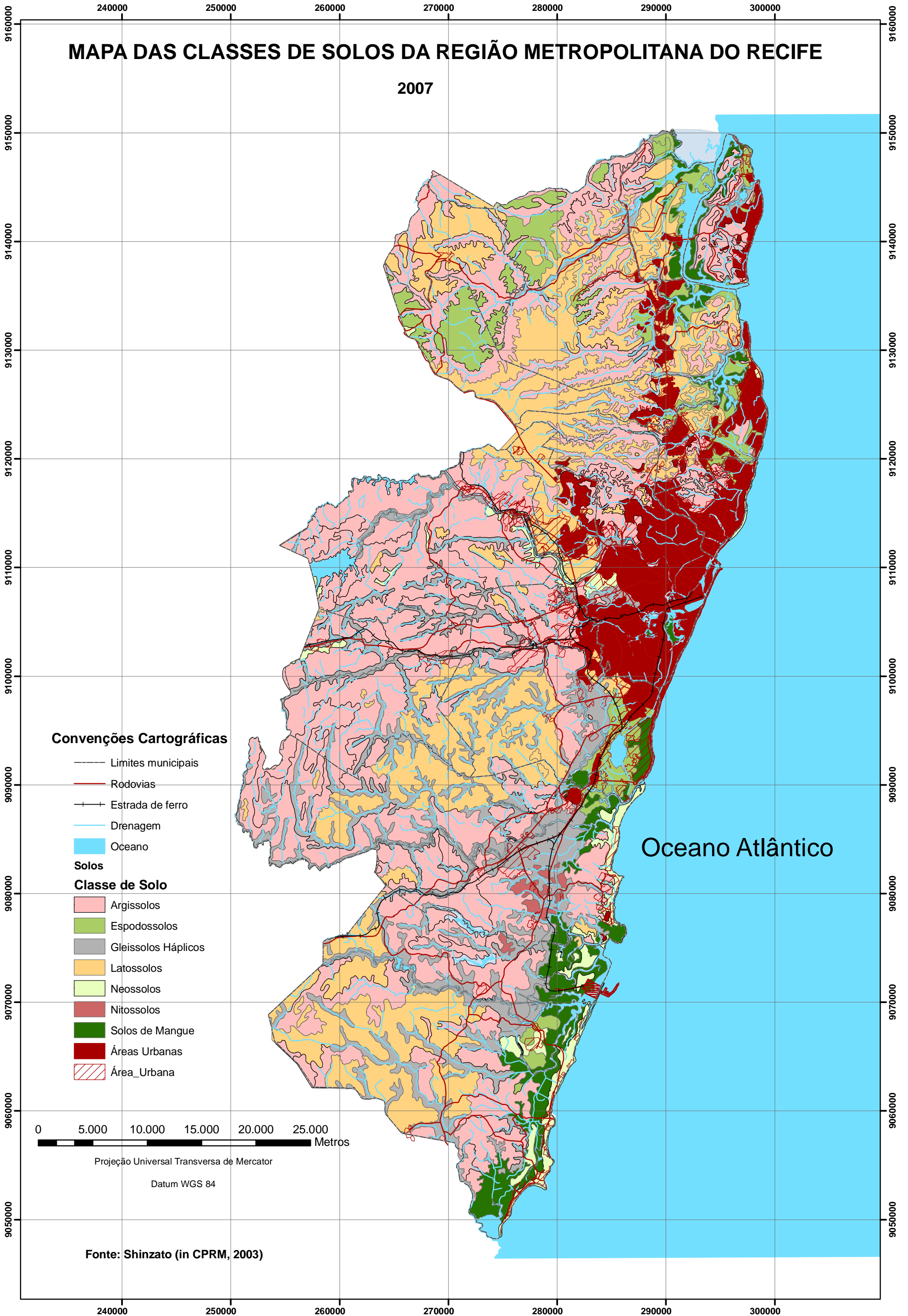
# MAPA DO PERFIL HORIZONTAL DE ENCOSTAS DA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE





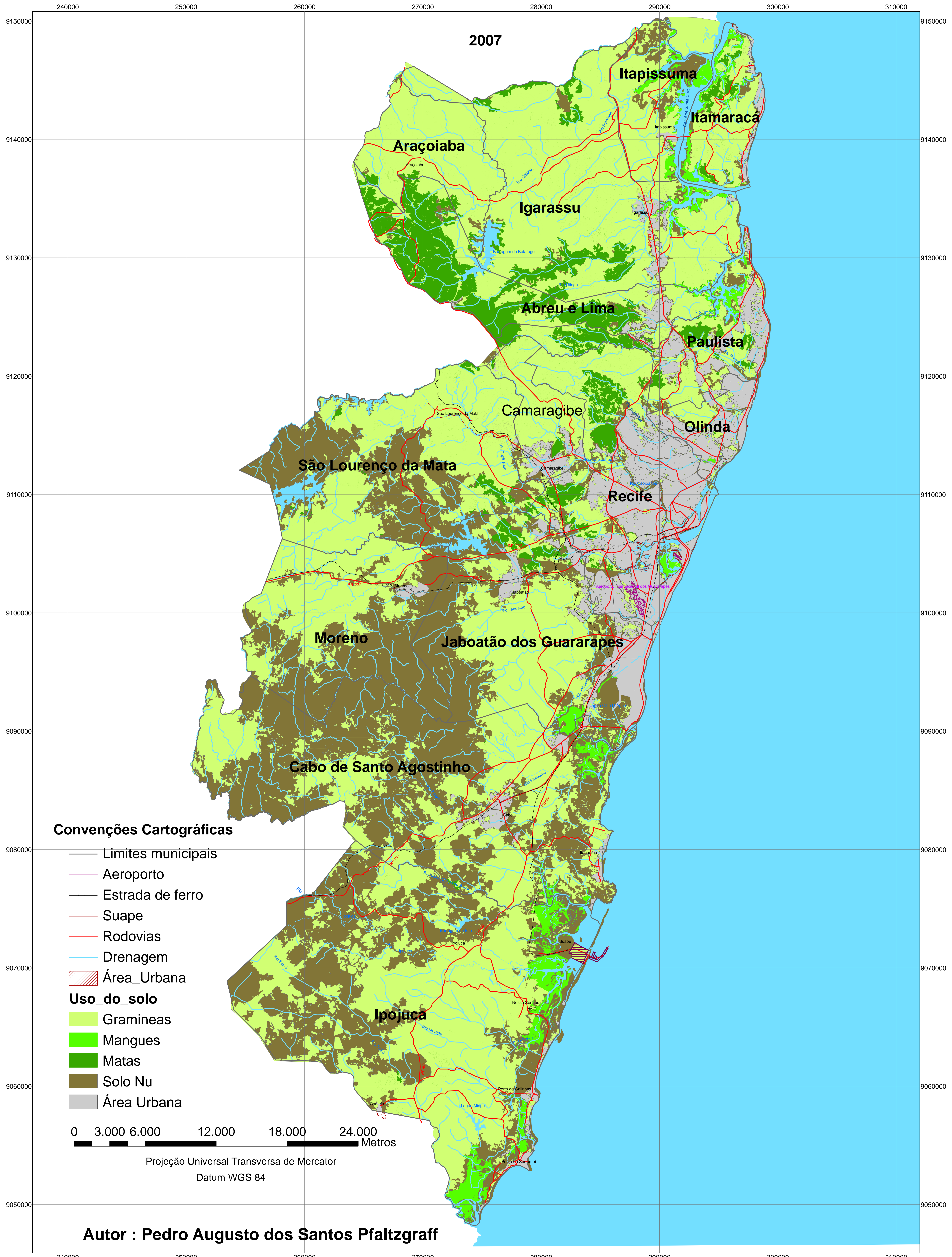
# MAPA DAS CLASSES DE SOLOS DA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE

2007





# MAPA DO USO DO SOLO NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE





**Tabela 1:** Peso de cada tema dentro do mapa geológico

| UNIDADE GEOLÓGICA             | LITOLOGIA   | INDEX* |
|-------------------------------|---|--------|
| Sedimentos de mangues         | Argilas, siltes, areia fina restos orgânicos e conchas              | 1      |
| Recifes de Arenito            | Grãos de qtz e fragmentos de conchas                                | 1      |
| Dep. Aluvionares              | Sedimentos arenosos e areno argilosos                               | 1      |
| Terr. Marinhas Pleistocênicas | Sedimentos Arenosos   | 1      |
| Sedimentos de praia           | Areias  | 1      |
| Sed. Flúvio-lagunares         | Areias finas, siltes, argilas, vasas diatomáceas e turfas           | 1      |
| Terr. Marinhas Holocênicas    | Areias finas , bem selecionadas com conchas                         | 1      |
| Sedimentos de mangues         | Argilas, siltes, areia fina restos orgânicos e conchas              | 1      |
| Fm Barreiras                  | Arenitos, argilitos e siltitos                                      | 3      |
| Fm Beberibe                   | Arenitos, arenitos calcíferos e níveis de fosfato                   | 1      |
| Fm Estiva                     | Calcários dolomíticos, calcilitos, folhelhos, siltitos e argilas    | 2      |
| Fm Gramame                    | Calcários, margas e argilas   | 2      |
| Fm Maria Farinha              | Calcários, argilas e calcários dolomíticos                          | 2      |
| Fm Gramame                    | Calcários, margas e argilas   | 2      |
| Fm Maria Farinha              | Calcários, argilas e calcários dolomíticos                          | 2      |
| Fm Algodoads                  | Conglomerados com matriz arcoseana, arenitos e arcósios             | 2      |
| Fm Cabo                       | Conglomerados, arenitos conglomeráticos, arenitos arcoseanos        | 2      |
| Fm Algodoads                  | Conglomerados com matriz arcoseana, arenitos e arcósios             | 2      |
| Fm Ipojuca                    | Suite vulcânica (riólitos, traquitos, basaltos e granito intrusivo) | 2      |
| Leucogranitos                 | Leucogranito  | 2      |
| Complexo Vertentes            | Quartzitos, metapelitos e metavulcânicas                            | 2      |
| Quartzodioritos               | Quartzodioritos   | 2      |
| Sienitos                      | Sienitos  | 2      |
| Monzonitos e granodioritos    | Monzonitos e granodioritos  | 2      |
| Compl. Belém S Fco            | Ortognáisses , migmatitos e restos de supracrustais                 | 3      |
| Compl. Gnáissico Migmatítico  | Ortognáisses graníticos a tonalíticos                               | 3      |



**Tabela 2: Peso de cada tema dentro do mapa das classes de solos**

| <b>Classe de Solo</b> | <b>Associação de solos</b> | <b>INDEX</b> |
|-----------------------|----------------------------|--------------|
| Gleissolos Hβplicos   | GXbd5                      | 1            |
| Gleissolos Hβplicos   | GXbd3                      | 1            |
| Neossolos             | RQo3                       | 1            |
| Latosolos             | LA'2                       | 1            |
| Argissolos            | PAd15                      | 1            |
| Neossolos             | RUve1                      | 1            |
| Latosolos             | LAd1                       | 1            |
| Argissolos            | PAd3                       | 1            |
| Gleissolos Hβplicos   | GXbd4                      | 1            |
| Neossolos             | RLd                        | 1            |
| Argissolos            | PAd8                       | 1            |
| Argissolos            | PAd13                      | 1            |
| Gleissolos Hβplicos   | GXbd1                      | 1            |
| Gleissolos Hβplicos   | GXbd2                      | 1            |
| Solos de Mangue       | SM                         | 1            |
| Neossolos             | RQo1                       | 1            |
| Espodossolos          | ESo1                       | 1            |
| Áreas Urbanas         | URBANA                     | 1            |
| Neossolos             | RUve2                      | 1            |
| Espodossolos          | ESo4                       | 1            |
| Argissolos            | PAd2                       | 1            |
| Espodossolos          | ESo5                       | 1            |
| Espodossolos          | ESo2                       | 1            |
| Latosolos             | LAd2                       | 1            |
| Latosolos             | LAd3                       | 1            |
| Latosolos             | LAd5                       | 1            |
| Argissolos            | PAd9                       | 1            |
| Argissolos            | PAd1                       | 1            |
| Solos de Mangue       | SM                         | 1            |
| Argissolos            | PAd10                      | 1            |
| Espodossolos          | ESo3                       | 1            |
| Neossolos             | RQo2                       | 1            |
| Gleissolos Hβplicos   | Gxbd2                      | 1            |
| Gleissolos Hβplicos   | Gxbd3                      | 1            |
| Argissolos            | PAd14                      | 2            |
| Argissolos            | PAd5                       | 2            |
| Argissolos            | PVAd1                      | 2            |
| Argissolos            | PAd12                      | 2            |
| Argissolos            | PA'9                       | 2            |
| Argissolos            | PAd4                       | 2            |
| Latosolos             | LAd6                       | 2            |
| Nitossolos            | NVdf                       | 2            |
| Argissolos            | PV22                       | 3            |
| Argissolos            | PVAd2                      | 3            |
| Argissolos            | PVAd3                      | 3            |
| Argissolos            | PVAd4                      | 3            |
| Argissolos            | PVAd5                      | 3            |
| Argissolos            | PVAd6                      | 3            |
| Argissolos            | PVAd7                      | 3            |
| Argissolos            | PAd6                       | 3            |
| Argissolos            | PAd11                      | 3            |
| Latosolos             | LAd7                       | 3            |
| Latosolos             | PAd7                       | 3            |

## MEMÓRIA DE CÁLCULO

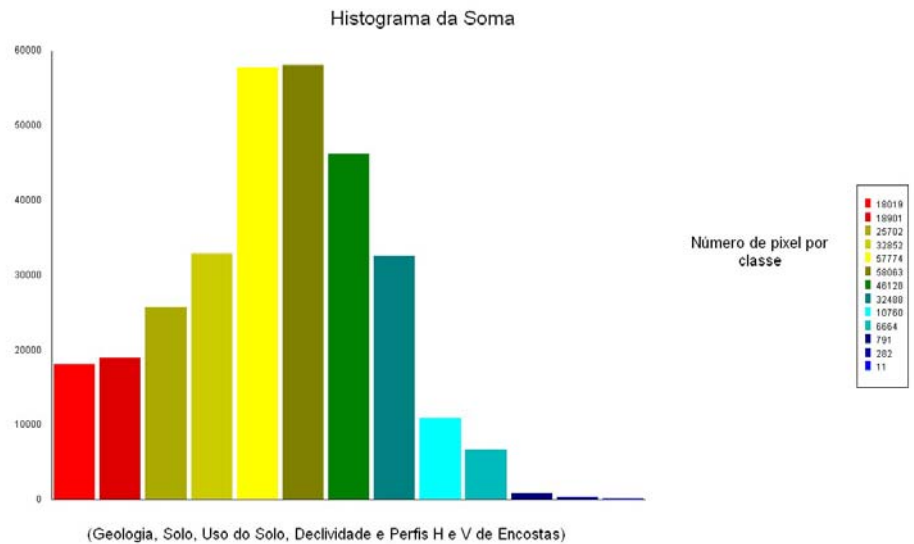
### Soma de mapas utilizando dados SRTM

Classe da soma dos mapas de geologia, declividade, solos, uso do solo e perfis de encostas vertical e horizontal. Células com dimensões de 92 metros.

Arquivo: SOMA 2

Classes:

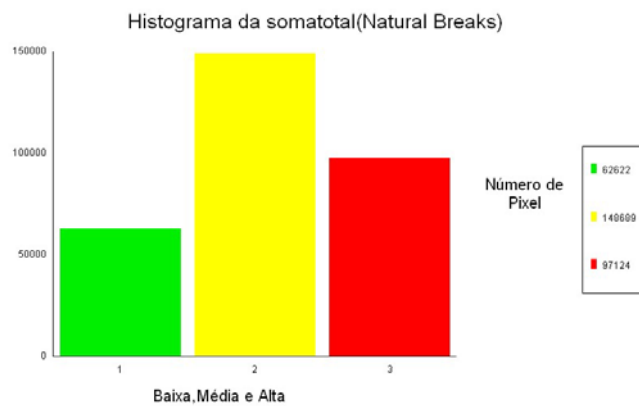
- 6- 18019
- 7- 18901
- 8- 25702
- 9- 32852
- 10- 57774
- 11- 58063
- 12- 46128
- 13- 32488
- 14- 10760
- 15- 664
- 16- 791
- 17- 282
- 18- 11



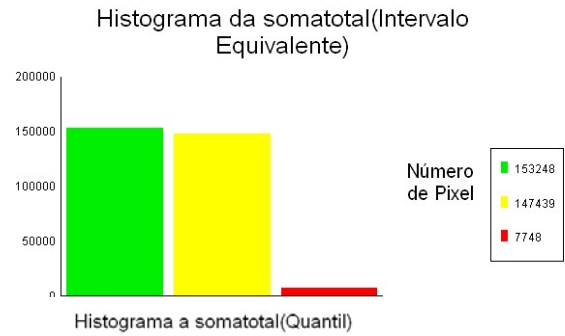
## MÉTODO DE RECLASSIFICAÇÃO UTILIZADO

- Natural break= NB
- Intervalo equivalente= IE
- Quantil = Q
- Manual = M

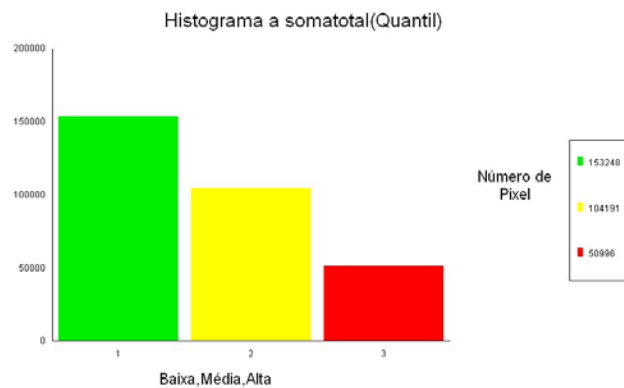
Natural Breaks : 8, 11, 18



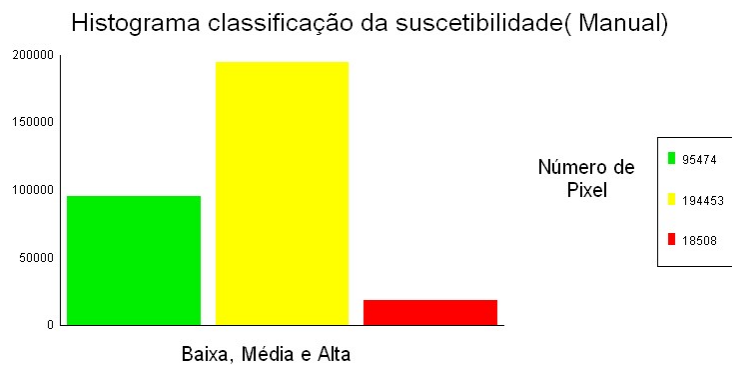
Intervalo Equivalente: 6-10, 10-14, 14-18



Quantile (quantil): 10, 12, 18



Manual: 6-9, 9-13, 13-18



Standart Deviation (desvio padrão): Não utilizado por não aceitar caracterização de apenas 3 intervalos (classes)

Intervalo definido: Não utilizado por não aceitar caracterização de apenas 3 intervalos

## SUBTRAÇÃO ENTRE OS MAPAS DE RISCO DE ALHEIROS (1998) E O MAPA GEOPROCESSADO.

Riscormr = Mapa de Suscetibilidade de Alheiros (1998)

Reclman= Mapa geoprocessado utilizando método estatístico “Manual”

Riscormr- reclman = rmrman

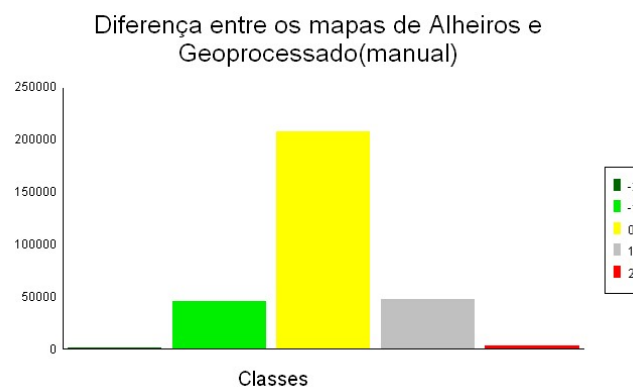
-2 = 1389 (0,45%)

-1 = 45893 (15,03%)

0 = 207552 (67,97%)

1 = 47214 (15,46%)

2 = 3327 (1,09%)



Riscormr- intervalo equivalente = riscmag

Riscormr =Mapa de Suscetibilidade de Alheiros (1998)

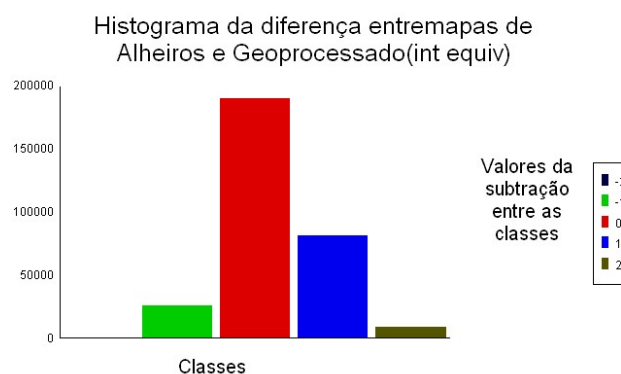
-2 = 400 (0,13%)

-1 = 2565 (0,84%)

0 = 189328 (62%)

1 = 81434 (26,66%)

2 = 8948 (2,93%)



Riscormr - somatoquantil = riscmag2

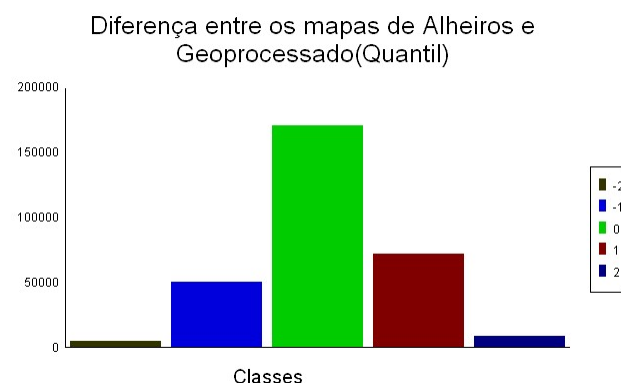
-2 = 4444 (1,455%)

-1 = 50228 (16,47%)

0 = 170072 (55,69%)

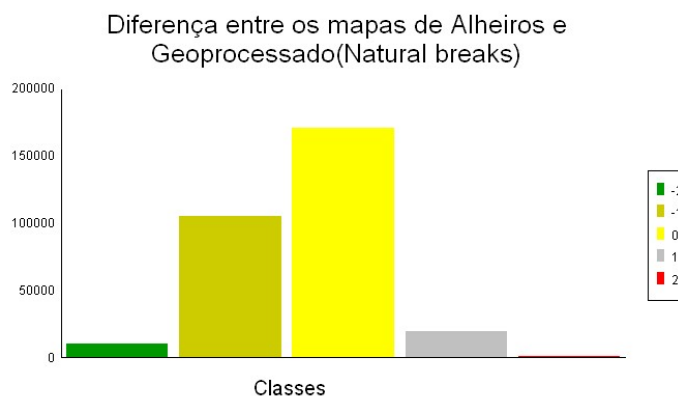
1 = 71623 (23,45%)

2 = 8948 (2,93%)



## Riscormr – reclasNB

-2 = 10558 (3,46%)  
 -1 = 104792 (34,515%)  
 0 = 170091 (55,69%)  
 1 = 19193 (6,28%)  
 2 = 741 (0,24%)



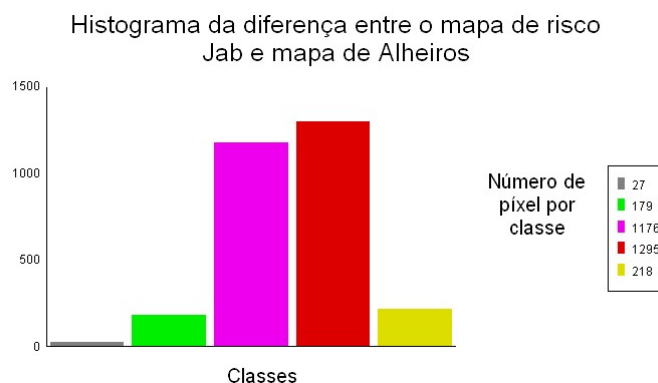
## Riscormr-recdesvio = rmrdesvio

-2 = 10558 (3,45%)  
 -1 = 89723  
 0 = 170448  
 1 = 31319  
 2 = 3327

## Diferença entre o mapa das áreas de risco de Jaboaão e o mapa de Alheiros

setor-recriscormr = setormag

-2 = 27 (0,945)  
 -1 = 179 (6,28%)  
 0 = 4176 (41,32%)  
 1 = 1295 (45,50%)  
 2 = 218 (7,65%)

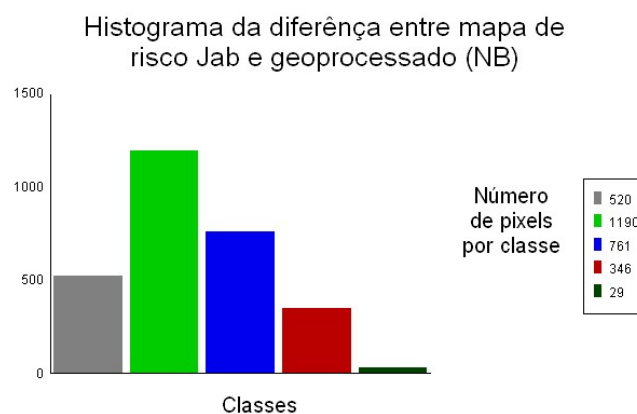


## Diferença entre o mapa das áreas de risco de Jaboaão e o mapa geoprocessado

Setor – RecsomaNB=SRNB

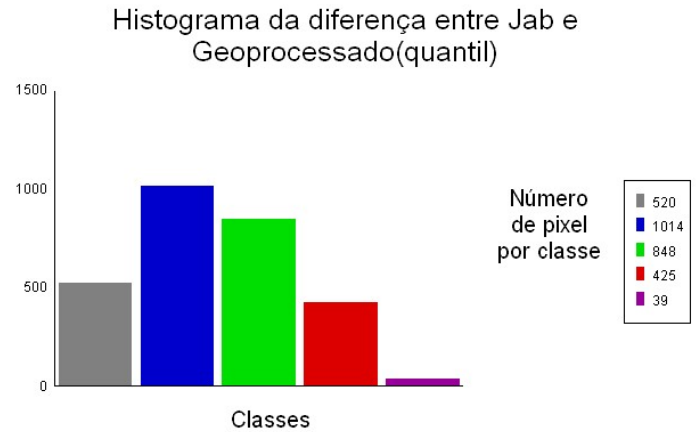
RecsomaNB= recorte soma natural break

-2=520 (18,27%)  
 -1=1190 (41,81%)  
 0=761 (26,73%)  
 1=346 (12,15%)  
 2=29 (1,03%)



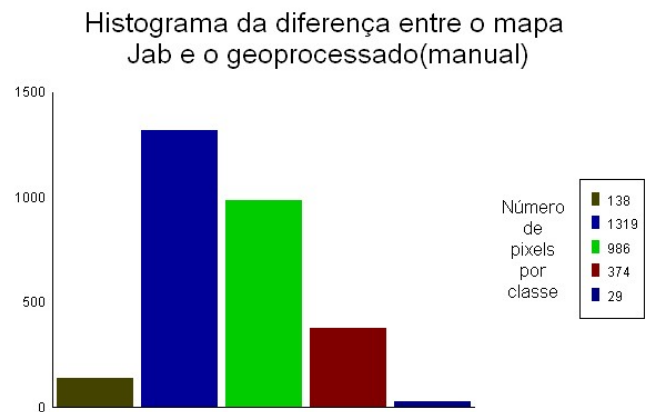
Setor – RecQ = SRQ  
 RecQ=Recortesoma quantile

- 2=520 (18,27%)
- 1=1014 (35,63%)
- 0=848 (29,79%)
- 1=425 (14,94%)
- 2=39 (1,37%)



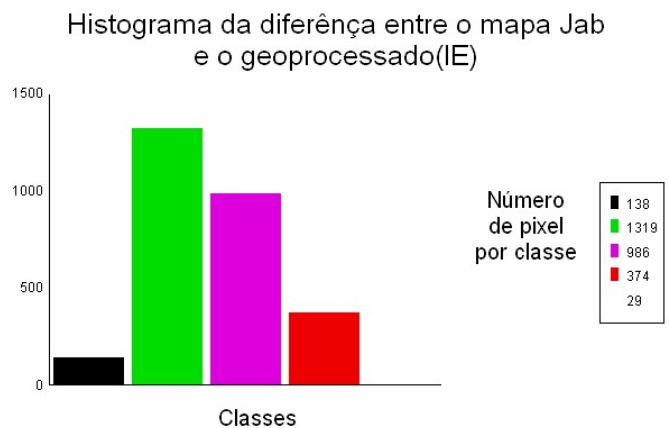
Setor - recsoman=SRMAN  
 Recsoman=recorte soma manual

- 2=138 (4,85%)
- 1=1319 (46,34%)
- 0=986 (34,64%)
- 1=374 (13,14%)
- 2=29 (1,03%)



Setor – recsoIE = SERIE  
 recsoIE = recorte intervalo equivalente

- 2 = 138 (4,85%)
- 1 = 1319 (46,34%)
- 0 = 986 (34,64%)
- 1 = 374 (13,14%)
- 2 = 29 (1,03%)



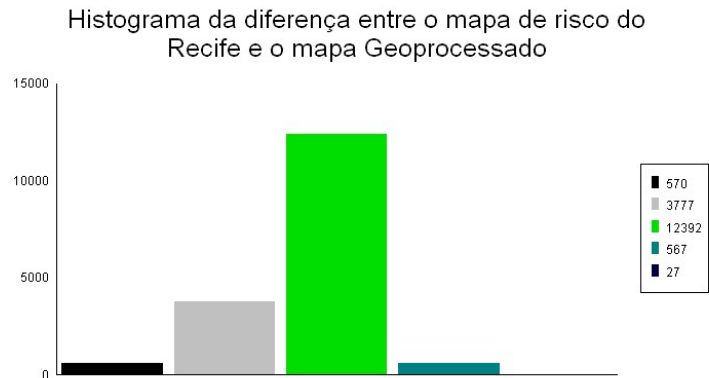
## Diferença entre o mapa das áreas de risco de Recife e o mapa geoprocessado

Riscorecife –reclassifNB

Riscorecife = Mapa de risco do Recife

ReclassifNB= recorte do mapa de risco geoprocessado e reclassificado para NB

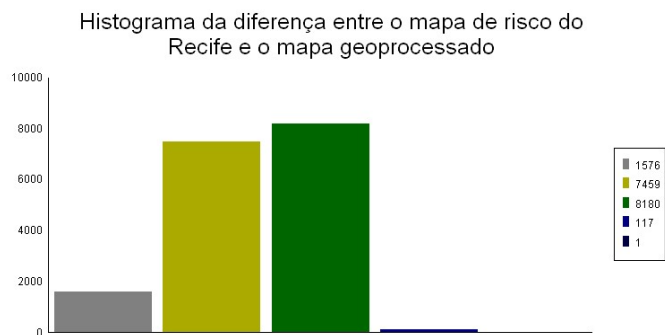
-2 = 570 (0,32%)  
 -1 = 3777(21,79%)  
 0 = 12392(71,49%)  
 1 = 567(3,27%)  
 2 = 27(0,15%)



Requant = reclassif do recorte soma recife (maprisc quantile)

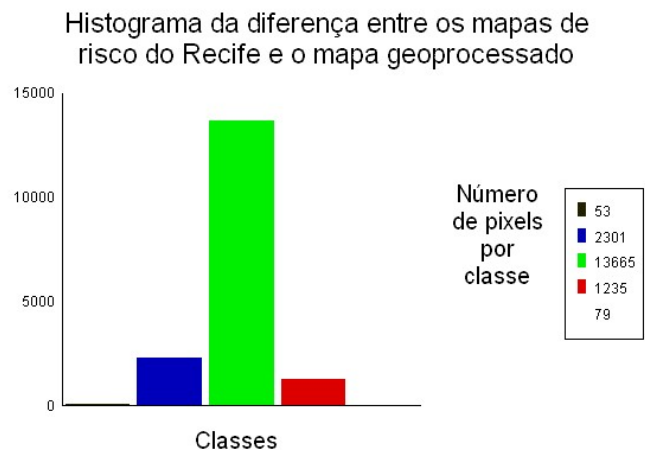
Riscorecife – requant = recifequant

-2= 1576(0,91%)  
 -1=7459(43%)  
 0=8180(47,20%)  
 1=117(0,67%)  
 2=1(0,005%)



Riscorecife – redefiii= riscoIE

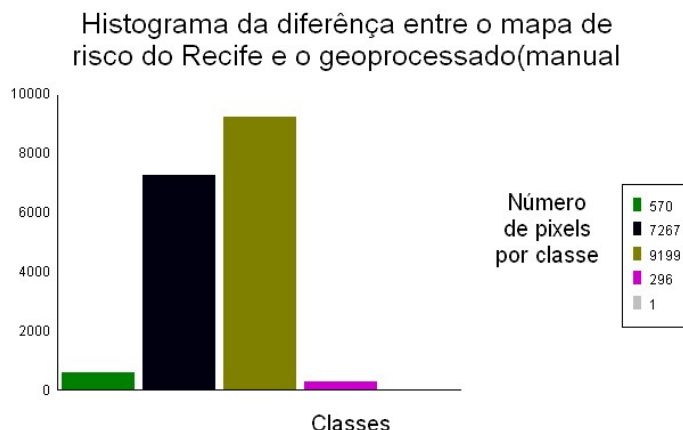
-2=53(0,32%)  
 -1=2301(13,27%)  
 0=13665(78,83%)  
 1=1235(7,12%)  
 2=79(0,45%)





Riscorecife – reman= remanfi

-2=570(3,28%)  
 -1=7267(41,92%)  
 0=9199(53,07%)  
 1=296(1,71%)  
 2=1(0,005%)



**Diferença entre os mapas de suscetibilidade de Alheiros (1998) e o mapa geoprocessado (porcentagem das classes resultantes a partir do número total de pixels) com dados do SRTM, utilizando vários métodos estatísticos.**

| CLASSE | METÓDO ESTATÍSTICO UTILIZADO |       |          |            | ÁREA |
|--------|------------------------------|-------|----------|------------|------|
|        | NB %                         | IE %  | MANUAL % | QUANTILE % |      |
| -2     | 3,46                         | 0,13  | 0,45     | 1,45       | RMR  |
| -1     | 34,51                        | 0,84  | 15,03    | 16,47      | RMR  |
| 0      | 55,69                        | 62    | 67,97    | 55,69      | RMR  |
| 1      | 6,28                         | 26,66 | 15,46    | 23,45      | RMR  |
| 2      | 0,24                         | 2,93  | 1,09     | 2,93       | RMR  |

**Diferença entre os mapas de risco de Jaboatão (JG) e o mapa geoprocessado (porcentagem das classes resultantes a partir do número total de pixels) com dados do SRTM, utilizando vários métodos estatísticos.**

| CLASSE | METÓDO ESTATÍSTICO UTILIZADO |       |          |            | ÁREA |
|--------|------------------------------|-------|----------|------------|------|
|        | NB %                         | IE %  | MANUAL % | QUANTILE % |      |
| -2     | 18,27                        | 4,85  | 4,85     | 18,27      | JG   |
| -1     | 41,81                        | 46,34 | 46,34    | 35,63      | JG   |
| 0      | 26,73                        | 34,64 | 34,64    | 29,79      | JG   |
| 1      | 12,15                        | 13,14 | 13,14    | 14,94      | JG   |
| 2      | 1,03                         | 1,03  | 1,03     | 1,37       | JG   |

**Diferença entre os mapas de risco de Recife (REC) e o mapa geoprocessado (porcentagem das classes resultantes a partir do número total de pixels) com dados do SRTM, utilizando vários métodos estatísticos.**

| CLASSE | MÉTODOS ESTATÍSTICOS UTILIZADOS |       |          |            | ÁREA |
|--------|---------------------------------|-------|----------|------------|------|
|        | NB %                            | IE %  | MANUAL % | QUANTILE % |      |
| -2     | 0,32                            | 0,32  | 3,28     | 0,91       | REC  |
| -1     | 21,79                           | 13,27 | 41,92    | 43,00      | REC  |
| 0      | 71,49                           | 78,83 | 53,07    | 47,20      | REC  |
| 1      | 3,27                            | 7,12  | 1,71     | 0,67       | REC  |
| 2      | 0,15                            | 0,45  | 0,005    | 0,005      | REC  |
|        |                                 |       |          |            |      |

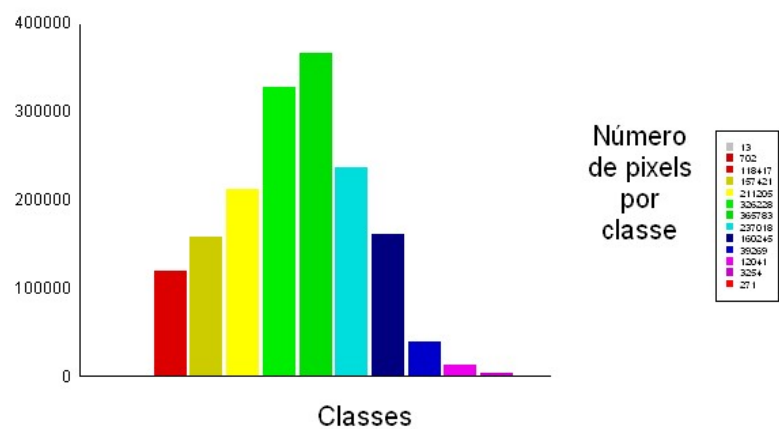
### SUSCETIBILIDADE COM DADOS DA SUDENE

CLASSES DA SOMA (geologia, declividade, solo, uso do solo, perfis horizontais e verticais de encostas) = somasudene

Classes Número de Pixel

|    |        |
|----|--------|
| 6  | 13     |
| 7  | 702    |
| 8  | 118417 |
| 9  | 157421 |
| 10 | 211205 |
| 11 | 326228 |
| 12 | 365783 |
| 13 | 237018 |
| 14 | 160245 |
| 15 | 39269  |
| 16 | 12041  |
| 17 | 3254   |
| 18 | 271    |

Histograma da soma com dados SUDENE



Método estatístico utilizado:

Natural break = NB

Intervalo equivalente = IE

Quantil = Q

Manual = M

Riscormr = mapa de suscetibilidade de Alheiros

Recal....= mapa reclassificado de acordo com os diversos métodos estatísticos

riscormr – recalNB (reclassificação do somasudene usando natural break) = NB

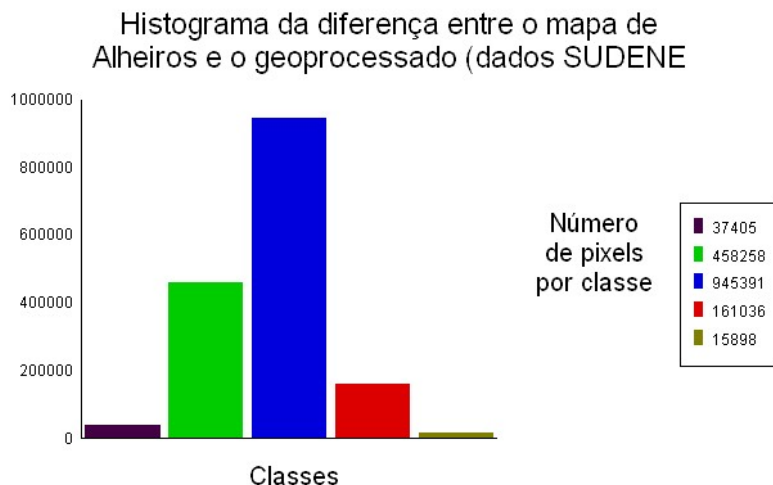
-2=37405(2,31%)

-1=458258(28,32%)

0=945391(59,81%)

1=161036(9,95%)

2=15898(0,98%)



riscormr – reclassIE=IE

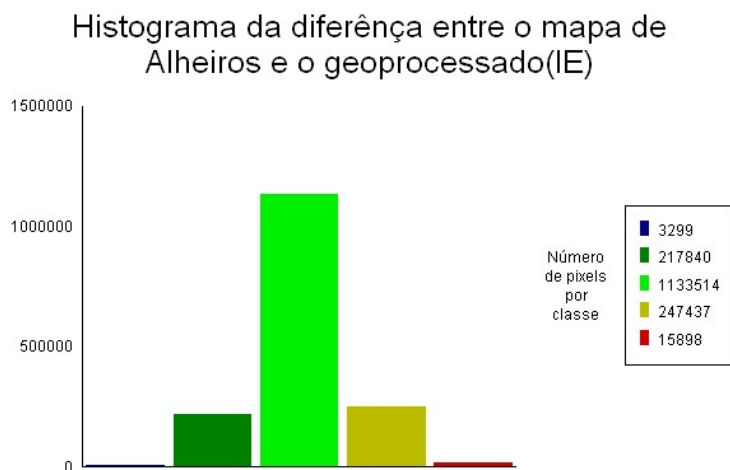
-2=3299(0,21%)

-1=217840(13,78%)

0=1133514(71,72%)

1=247437(15,65%)

2=15898(1,0%)



riscormr – reclassquant = quant

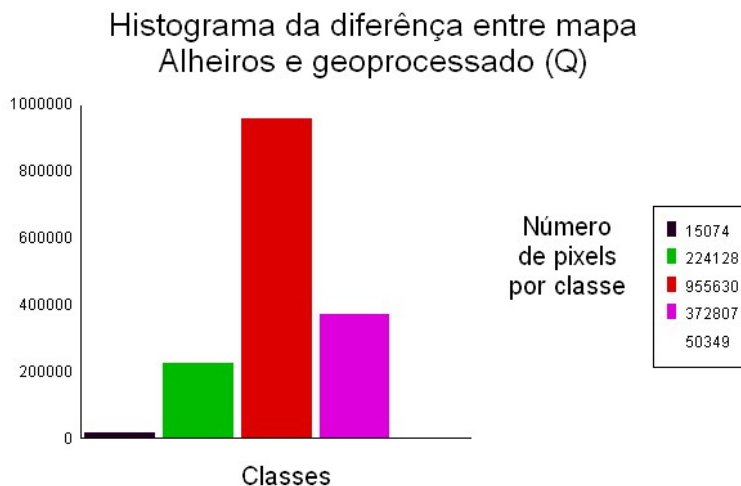
-2=15074(0,95%)

-1=224128(14,37%)

0=955630(60,46%)

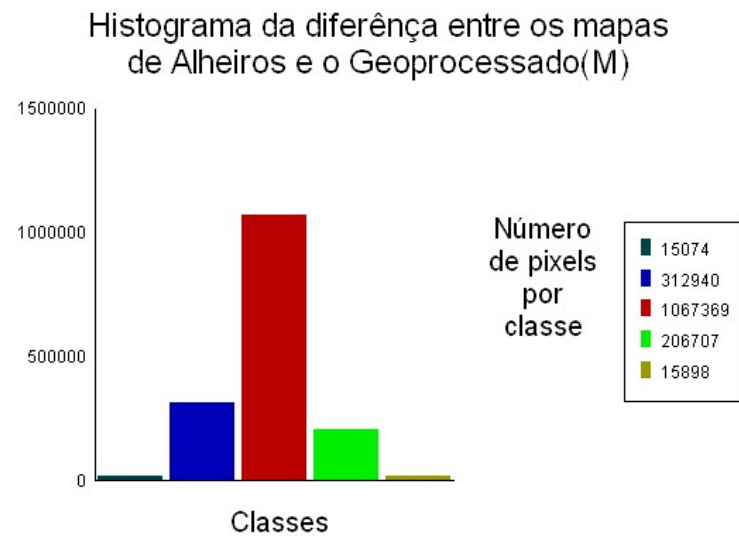
1=372807(23,59%)

2=50349(3,18%)



riscormr – reclassmanual= manual

-2=15074(0,95%)  
 -1=312940(19,80%)  
 0=1067369(67,53%)  
 1=206707(13,08%)  
 2=15898(1,0)



**Tabela com as diferenças entre os mapas de Alheiros (1998) e o mapa geoprocessado (porcentagem das classes resultantes a partir do número total de pixels) com dados das cartas topográficas da SUDENE, utilizando vários métodos estatísticos.**

| CLASSE | METÓDO ESTATÍSTICO UTILIZADO |       |          |            | ÁREA |
|--------|------------------------------|-------|----------|------------|------|
|        | NB %                         | IE %  | MANUAL % | QUANTILE % |      |
| -2     | 2,31                         | 0,21  | 0,95     | 0,95       | RMR  |
| -1     | 28,32                        | 13,78 | 19,80    | 14,37      | RMR  |
| 0      | 59,81                        | 71,72 | 67,53    | 60,46      | RMR  |
| 1      | 9,95                         | 15,65 | 13,08    | 23,59      | RMR  |
| 2      | 0,98                         | 1,0   | 1,0      | 3,18       | RMR  |
|        |                              |       |          |            |      |

### Diferença entre o mapa de risco de Jabotão e o mapa geoprocessado

Método estatístico utilizado:

Natural break= NB

Intervalo equivalente= IE

Quantil = Q

Manual = M

Setor-recJB = NB

-2=771(26,88%)

-1=998(34,79%)

0=708(27,69%)

1=364(12,69%)

2=27(0,94%)

