UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO
REMOTO APLICADOS AO ESTUDO DA DINÂMICA
URBANA DA PROVÍNCIA CIUDAD DE LA HABANA E
NA AVALIAÇÃO DE AMEAÇAS DE
ESCORREGAMENTOS NO MUNICÍPIO DE
HABANA DEL ESTE, CUBA**

Volume I

TEXTO

Rey Gaspar Carral Chao

Orientador: Prof. Dr. Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

SÃO PAULO
1998

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO
REMOTO APLICADOS AO ESTUDO DA DINÂMICA
URBANA DA PROVÍNCIA CIUDAD DE LA HABANA E
NA AVALIAÇÃO DE AMEAÇAS DE
ESCORREGAMENTOS NO MUNICÍPIO DE HABANA
DEL ESTE, CUBA**

REY GASPAR CARRAL CHAO

Orientador: Prof. Dr. Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

Nome

Assinatura

Presidente: Prof. Dr. Teodoro Isnard R. de Almeida

Examinadores: Prof. Dr. Fabio Taioli

Prof^ª Dr^ª Paulina Setti Riedel

SÃO PAULO
1998

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC

30900004735

**GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO
REMOTO APLICADOS AO ESTUDO DA DINÂMICA
URBANA DA PROVÍNCIA CIUDAD DE LA HABANA E
NA AVALIAÇÃO DE AMEAÇAS DE
ESCORREGAMENTOS NO MUNICÍPIO DE
HABANA DEL ESTE, CUBA**

Volume I

TEXTO

Rey Gaspar Carral Chao

Orientador: Prof. Dr. Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

SÃO PAULO
1998

A mis Padres

A mi Esposa

A mis Hijos,

dedico con todo amor

e inmensa gratitud.

SUMÁRIO

Volume I -Texto

LISTA DE TABELAS	p i
AGRADECIMENTOS	p iii
RESUMO	p vi
ABSTRACT	p viii
1 INTRODUÇÃO	p 01
1.1 Justificativa do tema	p 01
1.2 Aspectos teóricos	p 02
1.2.1 Conceituação de Risco Geológico	p 02
1.2.2 Os movimentos de massa (movimentos de ladeira)	p 07
1.2.3 Sistemas de Informações Georeferenciadas (SIGs)	p 19
1.2.4 Sensoriamento Remoto em áreas urbanas	p 22
2 OBJETIVOS	p 26
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	p 27
3.1 Aspectos gerais e dados significativos de <i>Ciudad de La Habana</i>	p 27
3.2 Características do município <i>Habana del Este</i>	p 31
3.2.1 Características físico-geográficas e socio-econômicas	p 31
3.2.2 Principais características geológicas	p 33
3.2.3 Caracterização geomorfológica	p 38
3.2.4 Tipos de solos	p 42
4 NATUREZA DOS DADOS E METODOLOGIA	p 43
4.1 Ameaças geológicas	p 43

4.1.1 Introdução	p 43
4.1.2 Programas utilizados	p 43
4.1.3 Coleta e tratamento dos dados disponíveis	p 44
4.1.3.1 Geração do Modelo Numérico de Terreno (MNT)	p 46
4.1.3.2 Utilização de vários interpoladores do programa SURFER	p 48
4.1.3.3 Obtenção do mapa de declividade	p 51
4.1.3.4 Características físico-mecânicas dos solos	p 51
4.1.4 Cruzamento de informações em ambiente SIG	p 52
4.1.5 Identificação de áreas potenciais à ocorrência de escorregamentos	p 53
4.2 Dinâmica urbana	p 56
4.2.1 Introdução	p 56
4.2.2 Fotografias aéreas do ano 1956	p 58
4.2.3 Imagens Multiespectrais. Processamento Digital	p 60
4.2.3.1 Índices de vegetação	p 65
4.2.3.2 Classificações pelo método da Máxima Verossimilhança	p 67
4.2.3.3 Composições coloridas	p 70
5 RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO	p 72
5.1 Ameaças de escorregamentos no município <i>Habana del Este</i>	p 72
5.1.1 Modelo Digital de Terreno	p 72
5.1.2 Mapa de declividade	p 73
5.1.3 Mapa de ameaças potenciais de escorregamentos	p 73
5.2 Dinâmica urbana de <i>Ciudad de La Habana</i>	p 76
5.2.1 <i>Ciudad de La Habana</i> em 1956 (fotografias aéreas pancromáticas)	p 76
5.2.2 <i>Ciudad de La Habana</i> em 1987 (Imagem XS-SPOT)	p 78
5.2.2.1 Análise dos índices de vegetação	p 78
5.2.2.2 Resultados da classificação MaxVer	p 82
5.2.2.3 Mapa de ocupação do terreno em 1987	p 85
5.2.3 <i>Ciudad de La Habana</i> em 1996 (Imagem TM-LANDSAT)	p 87
5.2.3.1 Análise dos índices de vegetação	p 87

5.2.3.2 Resultados da classificação MaxVer	p 93
5.2.3.3 Mapa de ocupação do terreno em 1996	p 96
5.2.4 Avaliação do processo de expansão	p 100
5.2.4.1 Dinâmica de ocupação de 1956 a 1987	p 102
5.2.4.2 Dinâmica de ocupação de 1987 a 1996	p 105
5.2.4.3 Dinâmica de ocupação de 1956 a 1996	p 108
 6 CONCLUSÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	 p 112
 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 p 115

Volume I - Lista de Tabelas.

- Tabela 1. Principais classificações dos movimentos de massa em encostas
- Tabela 2. Pesos atribuídos a cada fator considerado na análise de ameaças de escorregamentos
- Tabela 3. Distribuição das fotografias aéreas correspondentes à área de *Ciudad de La Habana*
- Tabela 4. Áreas das classes de ocupação do terreno por município em 1956 (em km²), obtidas por interpretação de fotografias aéreas pancromáticas.
- Tabela 5. Áreas (em km²) correspondentes a ALTO, MÉDIO e BAIXO Índice de vegetação por município em 1987. Resultados obtidos pela aplicação de IVS em imagem XS-SPOT
- Tabela 6. Áreas (em km²) ocupadas por cada classe em 1987 para cada município, a partir da interpretação de composições coloridas XS-SPOT (3/2/1-RGB)
- Tabela 7. Áreas (em km²) correspondentes a ALTO, MÉDIO e BAIXO Índice de Vegetação por município em 1996. Resultados obtidos pela aplicação de IVS em imagem TM-LANDSAT
- Tabela 8. Comparação dos índices de vegetação simples classificados das imagens de 1987 e 1996
- Tabela 9. Áreas ocupadas por cada classe em cada município em 1996
- Tabela 10. Valores atribuídos a cada classe de ocupação do terreno nas três datas analisadas
- Tabela 11. Resultados do cruzamento da imagem da dinâmica de ocupação de 1956 a 1987 com os limites dos municípios. Dados em hectares
- Tabela 12. Crescimento da população de Ciudad de La Habana de 1987 até 1995
- Tabela 13. Resultados do cruzamento da imagem da dinâmica de ocupação de 1987 a 1996 com os limites dos municípios
- Tabela 14. Resultados do cruzamento da imagem da dinâmica de ocupação de 1956 a 1996 com os limites dos municípios
- Tabela 15. Resultados estatísticos de áreas estáveis e de avanço para cada município, entre os anos de 1956 e 1996

Tabela 16. Comparação entre o avanço máximo da urbanização em área (1987-1996), obtido da interpretação das imagens e do crescimento da população (1987-1995), obtido em censo

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível graças à ajuda e colaboração de diferentes pessoas e instituições que de diversas maneiras e em todo o trajeto de execução da pesquisa, ofereceram seus conhecimentos, experiências e apoio para nos auxiliar na realização do mesmo. Meus mais sinceros agradecimentos:

Ao professor Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida, meu orientador, por me ter aceito como orientando, por seus ensinamentos sobre processamento de imagens, pelas discussões e sugestões feitas durante estes 29 meses de trabalho e pelo apoio em todas as atividades relacionadas com a minha estada no Brasil.

Declaro o meu profundo e sincero agradecimento ao Brasil por ter me permitido realizar este Mestrado, e muito especialmente à **Fundação de Amparo a Pesquisas do Estado de São Paulo (FAPESP)**, por seu apoio financeiro em todas as necessidades materiais tanto do projeto quanto da bolsa. Durante todo este tempo que estive em contato com a FAPESP, fiquei impressionado pelo grande profissionalismo e seriedade em suas funções e pelo excelente trato e amabilidade com que dirigentes e funcionários recebem e atendem a seus bolsistas. Meus maiores respeitos e o desejo que continuem seus sucessos no futuro, muito obrigado **FAPESP**.

A meu colega Fábio Branco, que desde o primeiro momento da chegada à Geociências, me ajudou no aprendizado das técnicas de processamento digital de imagens e com o idioma Português. Obrigado pelas sugestões feitas em todo este período de mestrado.

A Sérgio Vicente Liotte e Carlos César de Araújo, em princípio alunos de graduação, hoje meus colegas e amigos de departamento (meus "professores" de IDRISI), pela valiosa ajuda oferecida no conhecimento e aprendizado dos diferentes programas de geoprocessamento utilizados nesta pesquisa, assim como pelas cotidianas sugestões ao longo de todo o trabalho, muito obrigado.

Ao professor Arlei Benedito Macedo pelas orientações, revisões e conselhos no aprendizado das técnicas de Geoprocessamento.

Aos pesquisadores Omar Yazbek e Augusto Todashi Ogura, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), que desde o início ofereceram-se e colaboraram na temática de Riscos Geológicos, suas sugestões foram de grande ajuda.

Ao professor Antônio Carlos Colângelo, pelas críticas, sugestões e revisões feitas durante quase dois anos.

A meus amigos e compatriotas Carbeny (el Kiki), Hugo, Guillermo, Tony, Vilalta, Bayon e demais cubanos que encontram-se fazendo pós-graduação na USP, agradeço por sua colaboração e apoio durante todo este tempo. Especial reconhecimento merece "el Kiki", por todo o tempo que dedicou a preparação e tramitação do projeto deste Mestrado e pela ajuda oferecida em cada um dos momentos difíceis.

A meu colega e amigo Marcelo Rocha, quem sempre colaborou em tudo, especialmente na revisão do português, tarefa que sempre realizou com rapidez e entusiasmo.

Ao aluno de graduação Alexandre Carnier, meu amigo e fiel colaborador em tudo relacionado a SIGs e técnicas de geoprocessamento. Grande força também deu na apresentação das figuras.

À aluna de graduação Rosely Kimie Teruiya pela sua colaboração na parte da edição das figuras e gráficos.

Também merecem o reconhecimento meus colegas do Instituto de Geologia e Paleontologia de Cuba, em especial os companheiros do departamento de Geologia Ambiental, pela ajuda oferecida na aquisição de vários materiais e dados que não foram possíveis adquirir no início da pesquisa. Especial reconhecimento neste sentido para meu amigo Jorge Luis Diaz Comesañas.

Agradeço também a todos aqueles professores que participaram do curso de pós-graduação durante o período do meu programa de Mestrado.

Ao relator do **Processo nº 95/2335-0** pelas sugestões e opiniões que deu a este trabalho desde seu início.

Aos funcionários da biblioteca por facilitar em todo momento a busca da bibliografia necessária, e especialmente a Maristela Prestes pela ajuda oferecida na difícil tarefa de corrigir a minha bibliografia.

A meus colegas de pós-graduação do departamento pela ajuda oferecida em todo este tempo de permanência na GEO.

Por fim agradeço a todos aqueles que de uma forma ou de outra fizeram de minha estada no Brasil uma experiência inesquecível, muito obrigado.

RESUMO

A presente pesquisa avalia o comportamento da ocupação do terreno, no período de 1956 a 1996, na província de *Ciudad de La Habana*, Cuba, através de dados orbitais e informações temáticas dentro de um ambiente SIG. Ainda faz um estudo sobre a localização de áreas suscetíveis de escorregamentos no município de *Habana del Este*.

Para o estudo da dinâmica de ocupação de *Ciudad de La Habana*, o desenvolvimento desta pesquisa baseia-se na possibilidade de verificação das mudanças, das classes de ocupação do terreno selecionadas, ocorridas no período de análise, através da utilização de fotografias aéreas de 1956, de imagem XS-SPOT de 1987 e de imagem TM-LANDSAT de 1996. A partir da análise multitemporal-multiproduto foi possível a identificação das transformações ocorridas no espaço urbano.

As composições coloridas XS-SPOT (3/2/1-RGB) e TM4/TM3/TM2 (RGB) e TM3/TM2/TM1, conjuntamente com os resultados dos índices de vegetação, e em menor medida, a classificação pelo método da máxima verossimilhança, permitiram separar os diferentes tipos de ocupação do terreno (classes muito urbanizada, urbanizada, pouco urbanizada e rural, principalmente) e gerar os mapas de ocupação de 1987 e 1996, os que foram comparados em ambiente SIG para a análise da dinâmica.

As operações de divisão de bandas utilizadas na determinação dos índices de vegetação permitiram verificar as reduções de cobertura vegetal acontecida entre os anos de 1987 e 1996.

O estudo das ameaças de escorregamentos no município de *Habana del Este* foi feito a partir dos fatores condicionantes, a dizer, grau de declividade, tipos de ocupação, assim como profundidade e grau de saturação dos solos.

Essas informações foram analisadas num Sistema de Informação Georreferenciada (SIG-IDRISI), gerando o mapa de ameaças potenciais de escorregamentos, o qual mostra, de forma geral (devido à escala de trabalho), as áreas mais suscetíveis à ocorrência de instabilidade de encostas. Verificou-se que esses

locais estão localizados pontualmente, ocupando pequenas áreas dispersas pelo território, principalmente sob os Planaltos tectônico-estruturais (Fig.5) que se localizam paralelos à costa em toda a área do município.

ABSTRACT

The dissertation evaluates the behavior of land occupation , from 1956 to 1996, of Ciudad de La Habana county, Cuba, through remote sensing data (orbital and aerial data) and thematic information in a Geographical Information System (GIS). It still presents a study about the location of landslides susceptible areas in the Habana del Este district.

For the study of the Ciudad de La Habana occupation dynamics, the research was based on the verification possibility of changes in the selected land classes of occupation, occurred in the studied period, through the use of panchromatic aerial pictures of 1956, XS-SPOT 1987 image and TM-LANDSAT 1996 image. Based on multitemporal - multiproduct analysis was possible to recognize the transformations occurred in the urban space.

The false-color compositions XS-SPOT (3/2/1-RGB) and TM-Landsat (4/3/2 and 3/2/1 - RGB), jointly with the vegetation indexes results, and, secondarily, with maximum likelihood classifications, allowed to separate the different types of land occupation (very urbanized, urbanized, not very urbanized and rural classes, mainly) and to generate the occupation maps of 1987 and 1996. These maps were compared among them and with the 1956 occupation map, obtained by visual interpretation of the aerial pictures, in GIS environment, for the urban dynamic analysis.

The study of the landslides hazards in the district of Habana del Este was based in the main conditioning factors: declivity degree, occupation types and depth and saturation degree of the soils.

Those information were analyzed in a GIS environment, generating a regional map of potential landslides hazards , which shows, in a general view (due to the work scale), the most susceptible areas to the occurrence of slope instabilities. It was verified those locals are punctual, occupying small dispersed areas in the whole territory, mainly under the tectonic-structural Plateau, that are located parallel to the coast.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa do Tema

Nas últimas décadas desastres naturais em áreas urbanas têm provocado grandes perdas materiais e de vidas humanas em diferentes partes do mundo. Esse fato induziu ao desenvolvimento de técnicas de análise para a previsibilidade e quantificação das perdas socio-econômicas associadas. Isto pode ser ilustrado pelo grande número de simpósios, congressos e encontros internacionais celebrados neste período, que teve sua máxima expressão com o estabelecimento dos anos 90, pela Organização das Nações Unidas, como a Década Internacional da Redução de Desastres Naturais (UNDRO, 1988).

O desenvolvimento urbano em grandes cidades transforma e cria novas paisagens, podendo acelerar a ocorrência de eventos tais como inundações, movimentos de massa, erosão, etc. O caráter dinâmico da ocupação antrópica e seu reflexo no meio físico, exige que as técnicas e ferramentas de análise sejam capazes de oferecer facilidades para uma rápida entrada e manipulação de diferentes tipos de dados em um tempo relativamente curto.

A utilização de imagens de satélite, assim como análises em ambiente SIG, para estudos deste tipo, são hoje técnicas pouco utilizadas em Cuba. O presente estudo permitirá aos órgãos de planejamento da capital ter uma visão do comportamento da ocupação urbana e do meio físico, num período de 40 anos (1956-1996).

O estudo da dinâmica urbana aqui apresentado foi desenvolvido na província *Ciudad de La Habana*, capital da República de Cuba, a qual tem experimentado um grande crescimento populacional nos últimos anos. Tal crescimento foi direcionado através dos chamados planos diretores da capital. Estes não consideraram o meio ambiente em algumas áreas da zona metropolitana. O município *Habana del Este* é uma destas áreas, tendo sido escolhida para os estudos relacionados a ameaças geológicas, por seu intenso crescimento a partir dos anos 70, por seu potencial turístico, pelos acidentes já ocorridos e pela sua ocorrência potencial nas encostas ocupadas. Em Cuba o estudo de movimentos de massa em encostas é escasso e não

existe até hoje nenhum trabalho que tenha utilizado geoprocessamento na análise de áreas afetadas por esse tipo de evento.

Em acréscimo aos objetivos propostos nesta pesquisa, foi feito todo um aprendizado em técnicas de processamento digital de imagens de satélite e geoprocessamento, ferramentas ainda pouco desenvolvidas em Cuba.

1.2 Aspectos teóricos

Considerando que investigações deste tipo praticamente não existem em Cuba e baseando-se na revisão e estudo da bibliografia consultada, considerou-se importante fazer uma breve análise e discussão sobre os diferentes temas que abrangem a presente pesquisa. Assim, foram incluídos aspectos tais como Risco Geológico (RG) e Sensoriamento Remoto (SR) aplicados fundamentalmente a áreas urbanas e a utilização de Sistemas de Informação Georeferenciada como ferramenta fundamental para estudos desta natureza.

1.2.1 Conceituação de Risco Geológico

Risco (*Risk*) é um termo controverso. Isso tem sido admitido por cientistas e economistas (Ellis, 1989). De acordo com este autor, os riscos podem ser divididos em três grupos básicos, em correspondência aos impactos que produzem no meio ambiente: **físicos, químicos e biológicos**.

Ayala Cancedo (1987) os classifica em dois grandes grupos, segundo sua origem: riscos **naturais** e riscos **tecnológicos**. No nosso caso, o interesse está voltado aos riscos naturais. Estes, por sua vez são divididos em biológicos (pragas, epidemias, etc.) e físicos. Entre os riscos físicos, encontramos quatro subdivisões (climáticos, geológicos, geoclimáticos e cósmicos), dos quais os riscos geológicos nos interessam em particular. Os **riscos geológicos** têm sido classificados de acordo com sua origem em **naturais, induzidos e mistos**.

Os riscos geológicos **naturais** se estruturam em processos geodinâmicos internos (terremotos, vulcões, etc.) e externos (corridas de lama, escorregamentos,

etc.). De acordo com essa classificação, as inundações são de fato um risco geoclimático, pois se originam na atmosfera e se desenvolvem na superfície terrestre.

Rowe (1977, apud IGME, 1987), os definiu como **“o produto da probabilidade de ocorrência de um perigo versus o valor do dano material”**. O risco, portanto, é medido em unidades monetárias.

Augusto Filho et al. (1990) dividem os riscos naturais em riscos **atmosféricos e geológicos**, considerando a parte da geoesfera em que são gerados, e os subdividem em Endógenos e Exógenos, em função da dinâmica do processo estudado. O risco geológico foi definido por estes autores como **“uma circunstância ou situação de perigo, perda ou dano, social e econômico, causada por uma condição geológica ou por uma possibilidade de ocorrência de processo geológico, induzida ou não”**.

Aqueles autores propõem uma equação de risco para sua análise, segundo dois parâmetros principais: a frequência ou probabilidade de determinado fenômeno ocorrer (F) e a perda socio-econômica associada (C), deixando explícito que esses parâmetros estão em função da qualidade e quantidade de dados disponíveis na pesquisa.

Assim temos que: $R = F \times C$

onde: R = risco

F = frequência

C = consequência

A publicação do Instituto Geológico y Minero de España (IGME), intitulada *Riesgos Geológicos* (RG), coletou as exposições do quadro de professores do primeiro curso de RG, ministrado em Madrid, em novembro de 1987. Partindo de uma acepção ampla do conceito, define como: **“Todo processo, situação ou evento num meio geológico, de origem natural, induzida ou mista que pode gerar um dano econômico ou social para alguma comunidade, e em cuja previsão, prevenção ou correção há que se empregar critérios geológicos”** (Ayala Cancedo, 1987).

Em 1979 a Agência de Coordenação das Nações Unidas para o Socorro de Desastres (*Office of United Nations Disaster Relief Coordinator-UNDRO*), conjuntamente com a

Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (*United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization-UNESCO*), promoveram uma reunião de especialistas com a finalidade de unificar definições sobre o tema. Entre os conceitos propostos estiveram os seguintes:

Ameaça ou Perigo (H) - a probabilidade de ocorrência de um evento potencialmente desastroso, num dado período de tempo e numa dada área;

Vulnerabilidade (V) - grau de perda de um elemento ou grupo de elementos sob risco, resultado da provável ocorrência de um evento desastroso;

Risco Específico (Rs) - grau de perdas esperadas devido à ocorrência de um evento particular, como função da ameaça e a vulnerabilidade;

Elementos sob risco (E) - população, edificações, atividades econômicas, serviços públicos, infra-estrutura, etc. expostos em um área determinada;

Risco total (Rt) - número de perdas humanas, feridos, danos a propriedades e efeitos sobre a atividade econômica devido à ocorrência de eventos, ou seja o produto do risco específico (Rs) e os elementos sob risco (E), chegando à formulação seguinte:

$$R_t = (E) (R_s)$$

$$R_t = E \times H \times V$$

Posteriormente Cardona (1992) propôs eliminar a variável (E) por considerá-la implícita na vulnerabilidade (V). Esse autor considera que, uma vez conhecida a ameaça (A_i), entendida como a probabilidade que se apresente um evento de intensidade maior ou igual a i durante um tempo t , e conhecida a vulnerabilidade (V_e), entendida como a predisposição intrínseca de um elemento exposto e a ser afetado ante a ocorrência de um evento de intensidade i , o risco (R_{ie}) se entenderá como a probabilidade que apresente uma perda sobre o elemento e , como consequência da ocorrência de um evento com uma intensidade maior ou igual a i : $R_{ie} = f(A_i \times V_e)$.

Mejia-Navarro (1994), fez um estudo sobre ameaça, vulnerabilidade e risco na região de Glenwood Springs, Colorado, baseando-se no mesmo enfoque de Cardona (1992), nesse trabalho define-se o risco como **“a probabilidade de perda num elemento e , como consequência da ocorrência de um evento de uma intensidade**

maior ou igual que i ". Neste caso, o risco também está em função da ameaça e da vulnerabilidade, e foi determinado pela formula seguinte: $R_{ei} = f(H_i \times V_e)$.

Na bibliografia internacional consultada ainda existe uma diversidade de significados e denominações para termos utilizados em estudos de riscos. Na opinião de Ogura (1994), é importante conceituar alguns termos básicos para quem trabalha com riscos geológicos, já que em sua análise é preciso utilizar métodos e técnicas de outros ramos profissionais. Entre esses termos estão:

acidente: acontecimento calamitoso, em que foram registradas perdas sociais e/ou prejuízos econômicos;

evento: acontecimento em que não foram registradas perdas sociais e/ou econômicas;

perigo: ameaça potencial a pessoas ou bens;

risco: possibilidade de eventos perigosos produzirem conseqüências indesejáveis. É o perigo pressentido, melhor avaliado, isto é, uma perda potencial avaliada.

De acordo com a proposta daquele autor temos a Análise de Perigo (*Hazard Analysis*) e Análise de Risco (*Risk Analysis*). A primeira objetiva identificar os tipos de eventos perigosos, determinando a freqüência e condições espaciais e temporais de sua ocorrência. Já a análise de risco propriamente dita, considera dois parâmetros principais: a probabilidade de ocorrência do fenômeno (P) e as conseqüências ou custos socio-econômicos associados (C), e é calculada diante a formula $R = P \times C$.

Entre os especialistas norte-americanos, é comum a diferenciação entre **perigo** geológico e **risco** geológico.

Segundo o *U.S. Geological Survey* (1977, apud IGME, 1987), um **perigo** geológico é uma condição geológica, processo ou ocorrência potencial que supõe uma ameaça para a saúde, segurança ou bem-estar de um grupo de cidadãos ou para as funções ou economia de uma comunidade ou entidade governamental maior. A condição geológica pode ser a planície de inundação habitada de um rio; o processo seria a tormenta; a ocorrência, a inundação. Desse modo, um terremoto, ou escorregamento de uma vertente, em uma área deserta, não é um perigo geológico.

Apesar da diversidade de critérios em relação à definição e classificação dos riscos geológicos (RG), fica evidente que os fenômenos naturais se produzem como parte de uma dinâmica própria do nosso planeta, dinâmica esta que pode ser modificada através da intervenção do homem de modo a acelerar o processo, com conseqüências desfavoráveis, ou reduzir (ou mesmo evitar) tais conseqüências. Tal responsabilidade corresponde a cada um dos especialistas (ou a todos em conjunto) que se dedicam a esse tipo de atividade.

Dentro da análise de riscos discutida anteriormente, o primeiro passo é a determinação da ameaça (Hermelin, 1990), ou seja, a localização, magnitude e recorrência do fenômeno.

De acordo com documentos de terminologia básica desenvolvidos em reuniões e comitês de especialistas de instituições internacionais (Cardona, 1992), define-se a **ameaça** como "fator de risco externo de um sujeito ou sistema, representado por um perigo latente, associado com um fenômeno físico de origem natural, tecnológico ou provocado pelo homem, que pode manifestar-se num local específico e num tempo determinado, produzindo efeitos adversos nas pessoas, em bens e/ou no meio ambiente". Tal ameaça pode ser matematicamente expressa como a probabilidade de exceder ao nível de ocorrência de um evento com uma determinada intensidade, em um local específico e durante um período de tempo determinado.

No trabalho Meio Ambiente e Plano de Desenvolvimento, Hermelin (1993) define a ameaça como **a possibilidade de ocorrência de um fenômeno natural determinado, durante um certo lapso, num local específico**". A ameaça *versus* a vulnerabilidade dos elementos expostos é igual ao risco:

$$A \times V = R$$

Ameaça (*hazard*) é definida como **"a probabilidade que um evento de uma intensidade igual ou maior que um valor de categoria *i* ocorra durante um período de exposição *t*"** (Mejias-Navarro, 1994).

Todas estas análises, definições e classificações caracterizam a ameaça como um fenômeno que pode ou não suceder, dependendo do desenvolvimento que tenham

os fatores e condições que a provocam, podendo-se determinar o tempo de ocorrência e a área de abrangência.

Como já foi dito anteriormente, outro parâmetro a se ter em conta é a **vulnerabilidade** dos elementos que se encontram sob risco, também definida como “o grau estimado de danos ou perdas num elemento ou grupos de elementos expostos à ocorrência de um fenômeno de uma amplitude ou intensidade dada” (Cardona, 1992), ou seja, o nível de exposição ante uma ameaça específica, que geralmente expressa-se numa escala que varia desde 0, ou sem dano, até 1, ou perda total.

1.2.2 Os movimentos de massa (movimentos de ladeira)

Dentre os riscos ligados à geodinâmica externa, os movimentos de massa são os mais extensos devido, em grande parte, à ausência de associação direta com um determinado tipo de litologia, podendo ocorrer em uma infinidade de condições devido ao grande número de fatores que influenciam e condicionam seu desenvolvimento (Ayala Cancedo, 1987).

A variabilidade dos fatores que concorrem na instabilidade de ladeiras estão refletidas na própria dificuldade em classifica-la. Várias denominações já foram empregadas para se referir a movimentos gravitacionais de massa, baseadas em diferentes enfoques. O termo em inglês *Landslide* parece ser o nome mais genérico que identifica os diferentes tipos de movimentos de solo e/ou rocha que se produzem em encostas com diversos graus de declividade. *Landslides* refere-se a deslizamentos perceptíveis, quedas, ou fluxos de massa de solo, rocha e detritos (Mc-Graw, 1987, apud Kovári, 1988). Neste mesmo sentido Cruden (1991, apud Cruden e Varnes, 1996) define o termo como “o movimento de uma massa de rocha, detrito ou solo num terreno com declividade acentuada”.

A maior parte dessas classificações divergem em seus enfoques. Algumas delas estão baseadas em critérios geotécnicos, no entanto outras nos processos e na morfologia, refletindo uma perspectiva geomorfológica. Cada classificação oferece diferentes terminologias, trazendo confusões e contradições (Bryant, 1991).

Segundo aponta Augusto Filho (1995), as classificações mais recentes estão baseadas nos seguintes critérios básicos:

- cinemática do movimento: definida pela relação entre a massa em movimentação e o terreno estável (velocidade, direção e seqüência dos deslocamentos);

- tipo de material: solo, rocha, detritos, etc., destacando a sua estrutura, textura e conteúdo de água

- geometria: tamanho e forma das massas mobilizadas

Talvez a diferença mais evidente entre vários tipos de deslizamentos de terra e/ou rocha seja a natureza do material participante. Alguns deslizamentos estão compostos totalmente de rochas, outros só de solos, bem como com a mistura desses materiais, (Bolt et al., 1975). Segundo este autor, é possível chegar a uma classificação primária partindo de que o papel principal está dado pelo tipo de material e seu estado. No entanto tal método de classificação não é suficiente, já que os mecanismos de deslizamento de rocha ou de um movimento de solo, não estão implícitos só com a descrição do material deslizado. É preciso conhecer outros elementos importantes como são a velocidade do evento, seu deslocamento (que é função da magnitude do evento, mas depende também da massa do material e a velocidade que alcance) e o mecanismo do deslizamento.

A tabela a seguir apresenta as principais denominações e classificações feitas por vários especialistas em diferentes regiões do mundo.

Instabilidade de Vertente	Deslizamento e Desmoronamento	IGME (1987)
Movimentos de Vertente	Deslizamentos, Desmoronamento, Rastejos, Desprendimento de Bloco e Taludes de Rochas	IGME (1987)
Remoções em massa	Corridas, Deslizamentos, Desprendimentos, Avalanchas, Subsidiências e Afundamentos	Hauser (1993)
Escorregamentos	Queda, Deslizamento e Corridas	Bolt, B. A. et al (1975)
Instabilidade do terreno	Queda, Corrida, Tombamento, Deslizamentos e Expansão Lateral	Bryan (1991)
Movimentos de Encostas	Queda, Escorregamento, Tombamento, Expansão Lateral e Corrida e Escoamento	Varnes (1978) <i>In</i> : Augusto Filho (1995)
Movimentos Gravitacionais de Massa	Quedas, Corridas, Rastejos e Escorregamentos	A. Filho, 1992
Movimentos de massa	Quedas, Corridas, Tombamentos, Deslizamentos, e Expansões	Cruden & Varnes (1993) <i>In</i> : Cendrero e Dramis (1994)
Escorregamentos	Quedas, Corridas, Tombamentos, Escorregamentos e Complexos	Cooke e Doornkamp (1990). Baseado em Varnes (1978)

Tabela1. Principais classificações dos movimentos de massa em encostas

- Fatores e mecanismos condicionantes. Análise de Estabilidade

A pesquisa bibliográfica teve ênfase em trabalhos relacionados a estudos de fatores e mecanismos que aceleram os processos de escorregamento, fundamentalmente em regiões tropicais úmidas, pela semelhança com a área de pesquisa. São apresentados os fatores considerados como mais importantes para nossa análise.

A vegetação, a que comumente se associa um fator estabilizante, pode no entanto, segundo muitos especialistas (Tricart, 1961; Richard, 1964; Cruz, 1974; De Ploey e Cruz, 1979, apud De Ploey, 1981), ter efeito ambivalente na ocorrência de movimentos de massa em encostas, podendo acelerar ou atenuar a deflagração do movimento.

A multiplicidade de características ligadas à instabilidade de encostas, a seu comportamento espacial e à sua gênese, fazem que o estudo dos fatores envolvidos seja complexo.

A previsibilidade espacial e temporal dos escorregamentos está relacionada à correta identificação e análise dos agentes de origem geológica, geomorfológica, climática, antrópica, etc., dos seus modos de atuação e das suas interrelações na dinâmica destes processos (Augusto Filho, 1994).

Vários autores definiram de diferentes maneiras as causas e fatores que condicionam a ocorrência de movimentos de encostas. Assim, Varnes (1978, apud Augusto Filho, 1994) os dividem em dois grandes grupos:

- os que aumentam as solicitações
- os que diminuem a resistência

Recentemente foi proposta uma nova classificação das principais causas dos deslizamentos (Cruden e Varnes, 1996) que foram agrupadas em quatro grandes grupos, de acordo com as ferramentas e procedimentos necessários para acometer a investigação: causas **geológicas**; causas **morfológicas**; causas **físicas** e causas **humanas**. Essa classificação de tipos de causas parte do critério de que existem três grandes tipos de processos relacionados com deslizamentos: os que aumentam a força de cisalhamento, os que contribuem para diminuir a força e os que reduzem a resistência do material.

Anteriormente Guidicini e Nieble (1976) fizeram uma classificação baseada em agentes e causas, na qual a causa é o modo de atuação de um determinado agente na instabilização da encosta.

O **clima** predominante numa região impõe condições peculiares que às vezes são determinantes no condicionamento e produção de um movimento de massa.

Um dos elementos que favorece a ocorrência de movimentos de taludes é a umidade dos solos, a qual depende, em primeira instância, dos regimes de precipitações a que estão submetidos.

Segundo De Ploy (1981), o origem de todas as forças geomórficas são primariamente derivadas da gravidade ou do clima. A gravidade pode ser considerada como uma força constante, enquanto que o clima proporciona quantidades de energia que são muito variáveis no espaço e no tempo.

A chuva é um dos fatores climáticos mais importantes no deflagramento de um movimento de massa. O volume e a velocidade da precipitação dependem da intensidade, duração e frequência da chuva. A análise de parâmetros tais como magnitude e frequência das precipitações, é uma ferramenta na caracterização de aspectos relevantes num processo de instabilidade qualquer (Ahnert, 1987; De Ploey et al., 1991).

Estudos realizados por Wolle e Carvalho (1989) nos deslizamentos ocorridos na Serra do Mar, no Sudeste do Brasil, demonstraram que a causa principal desses eventos foi a infiltração da água de chuva, a qual provoca uma redução da resistência dos solos (pela eliminação ou drástica redução das pressões de sucção, reduzindo-se a coesão aparente). Neste estudo verificou-se que, tanto as chuvas que provocam a deflagração do evento, como a chuva acumulada no período precedente, são responsáveis pela ocorrência dos escorregamentos analisados.

Outro elemento a se considerar é a direção da chuva. Ela geralmente provoca maiores deslizamentos nas vertentes mais expostas, como ocorreu na Serra de Caraguatatuba, em fevereiro do ano 1996 (Colângelo, A. C., comunicação verbal).

As altas temperaturas e umidade características de climas tropicais úmidos favorecem o processo de intemperismo, grandes espessuras de solo e rocha alterada, compoem condições muito favoráveis para a instabilidade.

Outro fator climático importante, que não foi possível considerar neste estudo, foi a passagem de furacões, devido principalmente ao carácter regional deste trabalho. Para estudos mais detalhados devem ser considerados elementos tais como direção e velocidade dos ventos associados a eventos tropicais desse tipo.

Entre os condicionantes **geológicos** que mais incidem na estabilidade de encostas estão o tectonismo e a litologia. Tanto a tectônica como a neotectônica provocam fraturamento nas rochas originando blocos potencialmente mobilizáveis em episódios de instabilidade, além de mudanças no regime de infiltração das águas e conseqüentemente alterações nos processos físicos e químicos das rochas e solos.

A litologia também pode favorecer ou atenuar a deflagração de movimentos de massa, no caso de apresentar concentrações minerais mais susceptíveis ao intemperismo químico (solos mais argilosos e com menor resistência ao cisalhamento); também a porosidade é um parâmetro litológico importante em estudos deste tipo.

No deserto de Sinai, Yair e Lavee (1976, apud De Ploey, 1981), realizaram um experimento com um simulador de precipitações em ladeiras de declividades escarpadas, com uma cobertura rochosa composta de seixos rolados e matacões.

Estes autores encontraram uma relação positiva entre o tamanho das rochas e a formação do fluxo superficial. Esse fenômeno foi explicado como um processo de concentração da água derivada da estrutura rochosa na parte superior, áreas onde a concentração da água excede a capacidade de infiltração.

Uma cobertura rochosa também pode ter um efeito ambivalente na erosão da parte superior do solo. Isso foi testado em laboratório utilizando um simulador de precipitações (De Ploey, 1981). A erodibilidade das areias argilosas (56% de areia, 27% de silte, 17% de argila) foi testada em canais de drenagem de 100 x 20 x 8 cm. O efeito de pequenos seixos foi simulado usando mármore de 1,672cm e 2,455cm, inseridas dentro do meio da capa superior de solo. A porcentagem coberta foi de 15.5% e 31%, a intensidade das precipitações de 16 mm/hora e 48 mm/h. As unidades de descarga variaram entre 1-3 l/dm/h. O ângulo de inclinação de 2° e 16°. Os resultados obtidos, foram evidentes:

- Com um baixo potencial de gravidade ($\alpha = 2^\circ$) e valor de intensidade de precipitação (denominado I_r) mínimo igual a 16 mm/h, a lavagem da declividade foi máxima na marga arenosa diretamente exposta.
- contrariamente ocorreu quando o número de "froude" (número usado em estudos de corpos em movimentos flutuando num fluido resultante da ação de ondas na superfície) do fluxo incrementou-se na declividade escarpada ($\alpha = 16^\circ$). Agora a erosão foi mínima no solo descoberto e alcançou como máximo 15% da cobertura.
- uma similar evolução e inversão ocorreu em $I_r = 48$ mm/h, passando desde um ângulo de 2° a 16°. Para ângulos de declividades de $\alpha = 16^\circ$, a lavagem alcançou 15% da coberta de mármore menores que 1.672cm.

Esse experimento mostra claramente o efeito ambivalente, protetor ou ativador, de coberturas rochosas na lavagem das chuvas. A probabilidade que o efeito obstaculizador aumente a lavagem está possivelmente relacionado com o incremento das unidades de descarga e número de *froude* do fluxo. Os materiais irregulares proporcionam uma distribuição desigual da energia do fluxo e o fluxo de rolamento

carrega os fragmentos de rocha na parte superior do solo, causando a lavagem das cavidades.

O tipo de **solo**, sua estrutura, porosidade, coesão, entre outros, podem acelerar o processo de escorregamento numa região determinada. Alguns destes parâmetros determinam a quantidade de infiltração, fator importante no estabelecimento da dinâmica hidrológica de uma área qualquer.

Em declividades tropicais e subtropicais, a sucção do solo pode, em determinadas circunstâncias, manter a estabilidade (Anderson, et al., 1987). Por experiências daqueles autores na região do Caribe, em condições de solos saturados, um papel fundamental foi dado às condições de tensões efetivas. Parâmetros como força de cisalhamento, coesão, tensão normal, pressão da água nos poros, ângulo de fricção interna, entre outros, foram calculados (com ajuda de medidas de laboratório e métodos de campo) na referida região.

O estudo das relações entre índice de plasticidade e limite líquido proporcionam um melhor critério na caracterização dos tipos de solos argilosos tropicais encontrados em Dominica, oeste da Ilha, e permitem comparações com outras localidades semelhantes (Rouse e Reading, 1986). Esses estudos estão relacionados com os deslizamentos ocorridos nesta Ilha, pela passagem dos furacões *David* e *Frederic* em 1979. A metodologia utilizada nas investigações incluiu análise de parâmetros tais como força de cisalhamento, pressão da água nos poros, temperatura, etc.

Segundo Rodríguez (1987), o tipo e conteúdo de argilas num solo é muito importante para uma análise deste tipo. Uma propriedade particular de alguns solos argilosos é o de experimentar mudanças de volume quando há variação de seu conteúdo de água, o qual ele chamou expansividade das argilas. Para que um solo manifeste instabilidade dessa natureza, deve conter minerais argilosos capazes de experimentar mudanças volumétricas, além de ocorrerem alternâncias na umidade, para que essa capacidade possa se desenvolver. O qualificativo de argilas expansivas faz referência à capacidade de aumentar seu volume, mas também pode ocorrer uma diminuição do volume. Esse tipo de risco está mais ligado a problemas geotécnicos, mas também é um fator importante em estudos de estabilidade de encostas de áreas úmidas, fundamentalmente pelo fato de produzir-se pela hidratação do material.

De acordo com Cruden e Varnes (1996), as causas geológicas dos deslizamentos são:

- material incoeso
- material frágil, sensível
- material intemperizado
- material cizalhado
- material com juntas ou fissuras
- descontinuidade estrutural adversamente orientada
- contraste de permeabilidade
- contraste de dureza

Vários especialistas consideram o papel da vegetação em estudos de instabilidade de encostas (Zaruba e Mencl, 1969; Temple e Rapp, 1972; De Ploey, et al., 1978; Norman et al., 1995).

A distribuição espacial da erosão pelo impacto das gotas de chuva e lavagem das ladeiras em declividades colinosas, está controlada pela desigual concentração e magnitude das forças e resistências disponíveis. Parte da energia do impacto inicial e do fluxo da energia é absorvida e redistribuída pela vegetação (De Ploey, 1981).

É muito comum a opinião de que a vegetação e o solo coberto de material rochoso, protegem as ladeiras da erosão. Essa opinião está baseada principalmente na concepção de que as forças da gravidade são compensadas pela resistência oferecida pelo sistema de raízes e que a vegetação e a cobertura rochosa espalham a água da parte superior do solo, absorvendo a água e parte da energia erosiva.

Não entanto alguns dados mais recentes e alguns resultados experimentais apontam para um efeito ambivalente desses fatores.

Por um lado, trabalhos como os realizados por Zaruba e Mencl (1969), mostram que a drenagem do sistema de raízes das árvores consolida e detém o horizonte dos solos ou a camada alterada e que uma maior evapotranspiração em ladeiras florestadas oferece estabilização pelo incremento da resistência ao cizalhamento das rochas, mostrando o impacto positivo da cobertura vegetal na estabilidade de encostas. Eles especificam que o reflorestamento é um método eficaz só para deslizamentos de camadas pouco profundas.

Na realidade é evidente que a floresta diminui os micro deslizamentos laminares. Nas montanhas de Ulugura, Tanzânia, as pesquisas tem mostrado que os deslizamentos superficiais durante períodos de altas precipitações, são muito mais freqüentes em declividades cultivadas que em áreas florestais (Temple e Rapp, 1972; Rapp, 1974).

No entanto isso não significa que a vegetação e o material orgânico, em todos os casos, exercem um efeito protetor. A partir de dados compilados por Geiger (1966, apud De Ploey, 1981), pode-se deduzir o seguinte: um máximo de 40% da água é interceptada pelas copas das árvores, durante dias de fortes precipitações. No entanto um mínimo de 60% chega a atingir com força o solo. Menos de 50% da água interceptada é dispersa até o solo em forma de fluxo pelo tronco das árvores; a atividade da fauna do solo é importante no ambiente de floresta. Todas as espécies de animais aportam materiais à superfície, o qual fica exposto ao impacto das gotas de água e possibilita o fluxo por terra; alguns tipos de camadas orgânicas reduzem a umidade da parte superior do solo, e o fluxo superficial começa mais fácil. Por testes de laboratórios fica claro que uma cobertura vegetal escalonada, como fator de resistência, muda a hidráulica do fluxo superficial e pode ativar a declividade pelo desenvolvimento de padrões de fluxos turbulentos, incluindo fluxos de rolamento "*roller flow*" (De Ploey, 1981; Savat e Moeyersons, 1976).

Por outro lado, estudos como os feitos por De Ploey et al. (1979, apud De Ploey, 1981), apontam para um impacto negativo da vegetação na estabilidade de encostas. Segundo o autor, há duas principais razões para acreditar que as árvores e a floresta, além da proteção ao impacto, também tem um efeito detonador nos deslizamentos:

- Árvores altas, com várias dezenas de metros de altura, exercem uma apreciável carga (vários kg/cm^2) numa porção limitada do solo. Em princípio, o suporte do solo pode falhar quando uma certa carga crítica é excedida. Como a capacidade de suporte depende tanto da coesão como do ângulo de fricção interna, a probabilidade de ruptura aumenta durante as precipitações;

- A vegetação inibe o fluxo superficial, e ao redor das raízes, especialmente as superficiais. Assim há facilidade da infiltração das águas de chuva. Essa água armazenada diminui a força de resistência ao cisalhamento do solo. Esse efeito será

mais pronunciado quando a maior intensidade da chuva ocorrer no final do período chuvoso, pois o solo/rocha alterado já estará saturado.

De Ploey (1981) enfatiza o fato de que, direta ou indiretamente, a vegetação oferece proteção por várias razões:

- parcial absorção da energia cinética das gotas de chuva;
- interceptação da água pelas copas das árvores;
- cobertura da parte superior do solo pelo material disperso;
- desenvolvimento do húmus, estruturando o horizonte A com uma relativa maior capacidade de infiltração.

Conforme o anterior, o sistema de raízes facilita a infiltração. Isso pode ser especialmente efetivo, em áreas tropicais, onde as árvores são geralmente de raízes pouco profundas (Richards, 1964).

Cruz (1974) descreve, ainda, a “avalanche de detritos” com escorregamentos predominantemente planares, como o que, em 1967, destruiu o gnaisse da área florestada da Serra do Mar, perto de Caraguatatuba, Leste de Santos, Brasil.

Denny e Goodlett (1956) e Mills (1984, apud Norman et al., 1995) também afirmam que, em áreas florestadas, o transporte de sedimentos por enraizamento das árvores é um processo que pode, em muitas áreas, ser um mecanismo dominante de movimentos de massa.

São muitos os elementos **geomorfológicos** que têm a ver diretamente com a dinâmica dos movimentos de massa, mas sem dúvida a inclinação das superfícies do terreno é muito importante.

Geralmente a morfologia de uma região caracteriza o tipo de processo gravitacional que nela se desenvolve. Para análises deste tipo é recomendável a confecção do mapa de declividade como ponto de partida na delimitação das áreas mais propensas a escorregamentos, mas serão sempre a erosão e o desgaste mais pronunciados nas ladeiras mais íngremes? No caso da combinação de vários processos específicos, algumas pesquisas têm fornecido evidências contraditórias.

Numa região árida de Israel, Yair e Klein (1973, apud De Ploey, 1981 op. cit.), determinaram uma relação inversa entre o ângulo da declividade e a erosão da ladeira. Os resultados obtidos são explicados pelo fato que, em condições áridas, quando se

passa de uma área de declividade suave a uma escarpada, na declividade do talude superior se produz um incremento em fatores tais como dureza e tamanho das partículas, as quais favorecem a infiltração e evitam altas proporções de fluxo superficial.

O desenvolvimento urbano transforma grandes áreas da superfície da terra, sendo atualmente significativo em latitudes baixas, tais como na América Latina e no Caribe (Douglas, 1986). Na opinião do autor, as modificações da superfície do terreno devidas às atividades do homem em meios urbanos, modificam a energia, a água e o quimismo dessas porções afetadas. Essas modificações afetam grandemente o ciclo hidrológico e conseqüentemente os processos de erosão e sedimentação. No mesmo trabalho assinala-se que o movimento de massa potencial de uma área pode ser avaliado em termos de relativa estabilidade da declividade, avaliação que foi feita na região de São Francisco, E U A, utilizando cinco categorias num intervalo de I (estável) até V (instável), derivadas do ângulo da declividade.

De forma geral essa estabilidade pode ser afetada por atividades e produtos humanos como construções, restos de materiais da construção, depósitos de lixo, execução de cortes de talude, vibrações, cargas externas, etc.

Na opinião de Augusto Filho (1992), as principais modificações antrópicas que induzem os movimentos de massa são:

- remoção da cobertura vegetal
- lançamento e concentração de águas pluviais e/ou servidas
- vazamentos na rede de abastecimento, esgoto e presença de fossas
- execução de cortes com geometria inadequada (altura/inclinação)
- execução deficiente de aterros (compactação, geometria, fundação)
- lançamento de lixo nas encostas
- vibrações produzidas por tráfego pesado, explosões, etc.

A maior diferença entre os métodos existentes para a análise de estabilidade está no grau de complexidade e no número de variáveis que são tratadas (Anderson et al., 1987)

Uma das propostas metodológicas para desenvolver investigações desse tipo, envolve a elaboração de um estudo geotécnico da estabilidade do talude, o que implica em um levantamento topográfico detalhado, aquisição de amostras do solo ou de rocha, sua análise em laboratório e a análise dos dados. Este tipo de estudo geralmente é

realizado em áreas limitadas (áreas de alto risco), principalmente pelo alto custo da pesquisa.

Neste sentido, Augusto Filho (1995) fornece uma valoração dos métodos de análise de estabilidade de taludes e assinala que podem ser utilizados na elaboração de obras de contenção ou na confecção de cartas de suscetibilidade a escorregamentos para testar o modelo de ruptura, avaliar o ganho no fator de segurança ou para a modelagem da suscetibilidade das áreas estudadas.

Outras das propostas metodológicas daquele autor é aquela que se faz sob um enfoque preventivo, como por exemplo na elaboração de Estudos de Impacto Ambiental (EIAs), cartas de risco, cartas geotécnicas, e outras. Estas cartas objetivam a delimitação de zonas homogêneas quanto à tipologia, suscetibilidade e alcance dos movimentos de massa, considerando as interrelações entre a dinâmica destes processos e as formas de uso e ocupação de solo.

Um mapa ideal de ameaças de instabilidade deve conter informações da probabilidade espacial e temporal, tipo, magnitude, velocidade, distância a percorrer, e limite da recorrência dos movimentos da massa numa certa área (Hartlén e Viberg, 1988, apud Soeters e Westen, 1996).

A predição de ameaças de escorregamentos, em áreas que atualmente não estão sujeitas a instabilidade, está baseada em assumir que o fenômeno ameaçador que ocorreu no passado pode proporcionar informação útil para prever a ocorrência futura. No entanto o mapeamento do fenômeno e dos fatores que tem influenciado é muito importante na zonação da ameaça (Soeter e Van Westen, 1996).

Segundo estes autores, para a análise das principais condições do terreno à instabilidade de uma encosta, existem duas metodologias básicas: o mapeamento direto, no qual se faz uma avaliação direta das relações entre o movimento da massa e suas regulações geomorfológicas e geológicas, e o mapeamento indireto, que consiste no mapeamento de um grande número de parâmetros que potencialmente afetam o movimento de massa/escorregamento e a análise estatística de todos esses possíveis fatores contribuintes à ocorrência da instabilidade da declividade.

Um requisito necessário para acometer investigações deste tipo é a seleção da escala de trabalho. Segundo Soeters e Van Westen (1996), para análise de estabilidade de declividade a escala é determinada pelos requerimentos do uso para quem a pesquisa é executada. Uma diferenciação de escalas de trabalho para a

zonação de ameaças foi proposta pela *International Association of Engineering Geology* (1976, apud Soeters e Van Westen, 1996) que é a seguinte:

Escala nacional	< 1: 1. 000 000	
Escala regional	< 1: 100. 000	a 1: 500. 000
Escala média	< 1: 25. 000	a 1: 50. 000
Escala grande	< 1: 5. 000	a 1: 15. 000

Outras considerações feitas por Soeters e Van Westen (op. cit.) sobre os mapas de escala média é que podem ser usados para a determinação de zonas de ameaças em áreas afetadas por grandes estruturas de engenharia, rodovias e urbanização. Essas áreas podem cobrir pouco mais que centenas de quilômetros e o nível de detalhe deve ser tal que as encostas vizinhas de mesma litologia sejam avaliadas separadamente, podendo-se obter diferentes tipos de ameaças dependendo de características tais como ângulo da declividade ou forma e tipo de uso da terra.

1.2.3 Sistemas de Informações Georreferenciadas (SIGs)

É conhecida a importância da integração de dados para qualquer estudo relacionado com problemas do meio-ambiente. O volume dos dados a ser analisado, a necessidade de sua localização espacial, assim como seu tratamento, precisam da ajuda do computador, e um sistema que permita a entrada e saída dos dados além de sua análise e interpretação.

Na literatura consultada existem muitas definições de Geoprocessamento e Sistema de Informação Georeferenciada (SIG), baseadas em diferentes enfoques: funcionalidade, área de aplicação, custo, etc. Para muitos especialistas o foco central da atividade de um SIG é o *hardware* e o *software*, enquanto outros autores consideram o processamento da informação como o elemento chave. Algumas considerações, balizadas pela pesquisa bibliográfica, são expostas a seguir.

Bedell (1994) aponta que: "um SIG é qualquer sistema que trata dados espaciais". Especificando que é uma forma particular de sistema de informações aplicado a dados geográficos.

Bonham-Carter (1994), define SIG como um sistema de computador para tratamento de dados espaciais e Rodrigues (1990) o define como "conjunto de

tecnologias de coleta e tratamento de informações espaciais e de desenvolvimento, e uso de sistemas que as utilizam”

Lo (1987) aponta que um SIG deve ser, ao menos, compatível com um subsistema de processamento de dados, um subsistema de análise de dados e um subsistema de uso de informações. O processamento de dados inclui a aquisição, entrada e armazenamento dos dados. A análise inclui recuperação, análise e entrada de informações em varias formas. O uso do subsistema permite destacar informações que serão aplicadas ao problema.

O SIG é definido como um conjunto de ferramentas poderosas para a coleção, armazenamento, restabelecimento (recuperação), transformação e apresentação de dados espaciais do mundo real (Burrough, 1987). Segundo esse autor, os SIGs são o resultado da união de desenvolvimentos paralelos de diferentes disciplinas de processamento espacial de dados. Segundo ele, na estrutura de um software para SIG os módulos básicos são:

- entrada de dados e verificação : refere-se a captura e a transformação de dados em diferentes formas (mapas, observações de campo e sensores) dentro de um ambiente digital compatível;
- armazenamento de dados e gerenciamento da base de dados: estão relacionados com a via pela qual a posição dos dados, sua topologia e atributos dos elementos geográficos são estruturados e organizados com relação a como devem ser manipulados no computador e como eles são percebidos pelo usuário;
- saída dos dados e apresentação: as vias pelas quais os dados são mostrados e os resultados das análises são referidos para o usuario;
- transformação dos dados: abrange duas classes de operações; transformações necessárias para remover erros e um conjunto de métodos de análise que podem ser aplicados para ordenar os dados e obter respostas as perguntas pedidas pelo SIG;
- interação com o usuário: este módulo é essencial para a utilização de qualquer sistema de informação. É dado pela via sistemas de comando *menu-driven* ou via comando de linguagem simples *English-like*.

Para Star e Estes (1990), há cinco elementos essenciais que deve conter um SIG:

- aquisição dos dados: processo de identificação e coleta dos dados necessários para sua aplicação;
- pré-processamento: manipulação dos dados por vários modos para a entrada destes no SIG;
- gerenciamento dos dados: função que governa a criação e acesso ao banco de dados;
- manipulação e análise: operações analíticas que trabalham com o banco de dados para produzir novas informações;
- geração do produto: fase final onde o produto do SIG é criado.

A diferença de outros tipos de dados manipulados em sistemas convencionais de informação, os dados geográficos incluem informações acerca da posição, possível tipologia e atributos dos objetos registrados. Os atributos não espaciais deverão ser codificados de tal forma que possam ser utilizados na análise dos dados.

Todos os dados geográficos podem ser resumidos em três conceitos topológicos básicos: ponto, linha e área (Burrough, 1986. op cit). O mapa é uma seleção de pontos, linhas e áreas que são definidos pela sua localização no espaço com referência a um sistema de coordenadas e pelos seus atributos não espaciais.

A seleção de uma determinada estrutura de dados espaciais é uma das primeiras decisões na designação de um SIG (Star e Estes, 1990). A estrutura raster é composta de pequenas celas (pixel) distribuídas uniformemente num *grid*. Cada cela do *grid* está referenciada por um determinado número de linhas e colunas. Segundo Burrough (1986 op cit), em estruturas raster um ponto está representado por uma simples cela no *grid*, uma linha por um número de celas vizinhas alinhadas numa determinada direção e uma área por uma aglomeração de celas vizinhas.

Tecnicamente, vetor é qualquer quantidade variável que pode ser descrita como tendo magnitude e direção. O termo é frequentemente usado para designar todos os dados gráficos que podem ser descompostos em localizações de pontos descritas por coordenadas absolutas (Eastman, 1997).

Nesta pesquisa é utilizada a denominação Geoprocessamento, conforme definida por Rodriguez (1990), coerentemente com o grupo que trabalha na área no Laboratório de Informática Geológica (LIG), onde a pesquisa foi desenvolvida.

Na organização dos dados, segundo Macedo (1996), é necessário ter em conta aspetos como:

- cada conjunto de dados e cada produto de uma fase de trabalho deve ser conferido e testado exaustivamente antes da fase seguinte;
- os programas escolhidos para a organização do banco de dados devem permitir fácil comunicação com outros programas, sob pena ter de recomeçar o trabalho ao mudar o sistema;
- para os dados espaciais, devem ser mantidos os arquivos em forma vetorial, que preservam integralmente a precisão dos dados, conforme coletados, e os arquivos raster, nas resoluções espaciais mais convenientes para análise e visualização.

Fica balizado pela revisão bibliográfica que a utilização de SIG e Geoprocessamento em estudos deste tipo, oferecem muitas facilidades para visualização, capacidade de armazenamento e processamento dos dados, o que facilita grandemente a interpretação dos principais fenômenos e processos que ocorrem no meio.

1.2.4 Sensoriamento Remoto em áreas urbanas

Os trabalhos seleccionados na pesquisa bibliográfica abarcam aqueles que utilizaram tanto dados de imagens SPOT como de LANDSAT, por sua semelhança com as imagens obtidas para a pesquisa, além da utilização de Sistemas de Informação Georreferenciada (SIG) na integração dos dados. Constatou-se a adequação de técnicas de Sensoriamento Remoto, conjuntamente com outros dados (geológicos, geomorfológicos, geotécnicos, etc.), à localização de áreas de riscos geológicos (movimentos gravitacionais de massa).

Na década de 1960 ainda o sensoriamento remoto orbital não era uma realidade (Verstappen, 1987) e a fotointerpretação estereoscópica resultava ser a técnica mais avançada da época. Durante o 26º Congresso Geológico Internacional, celebrado em Paris, em 1980, pela primeira vez inclui-se o tema de sensoriamento remoto (SR) entre as demais especialidades, em sua seção 11 (Fontanel, et al., 1982).

No começo dos anos 90 os campos de aplicação estenderam-se às observações de componentes mais variáveis e superficiais como são a atmosfera, solo, vegetação,

etc. (Kessler, 1987; Foody, 1995; Sharma e Snigh, 1995 e Narayana, 1996), que condicionaram a possibilidade de seu uso aos problemas ambientais.

Os estudos relacionados com a ocupação urbana e sua interação com o meio, assim como a dinâmica dos processos e fatores físico-geográficos que nela se desenvolvem, requer em técnicas capazes de fornecer dados e informações suficientes e com o menor custo possível, para enfrentar, solucionar e/ou mitigar os efeitos provocados por essa ocupação, a qual, na maioria das vezes, ocorre de uma forma desordenada e conseqüentemente prejudicial.

Atualmente são muito utilizadas as técnicas de Sensoriamento Remoto para a análise urbana, com resultados satisfatórios. Segundo Foresti (1989, apud Costa e Silva, 1993) "os dados adquiridos pelos sensores HRV-SPOT e TM/LANDSAT permitem, através de suas resoluções espacial, espectral e temporal, captar as tendências de expansão das áreas urbanas com boa precisão, e registrar, periodicamente, as relações indiretas entre os fenômenos urbanos e todo o seu ambiente regional e identificar o desenvolvimento urbano em locais inadequados, como por exemplo, a ocupação de áreas de relevo com alta declividade"

Neste mesmo sentido Foresti (1986, 1988) utiliza um enfoque metodológico para o estudo da expansão e estruturação do espaço urbano através de dados orbitais em diferentes níveis e escalas de observação, utilizando dados dos sensores MSS e TM Landsat e dados digitais HRV pancromáticos do satélite Spot, além de fotografias aéreas pancromáticas, fotos obtidas de sobrevôo de helicópteros e dados de campo. Os dados pancromáticos do sensor HRV-Spot serviram para aprofundar na análise da estruturação urbana, podendo-se ampliar as áreas de interesse a uma escala maior, com a ajuda da resolução espacial de 10 m.

As técnicas de SR podem ser aplicadas também a outros tipos de estudos urbanos. Segundo Lo (1987) outras aplicações podem ser utilizadas para estimar a densidade de população numa área, o que é fundamental para calcular o espaço de distribuição em trabalhos de planificação. Assinala o autor que esta estimativa por dados de SR, não substituirá os censos que regularmente realizam-se cada 10 anos na maioria dos países. Neste caso os dados do infravermelho termal, fornecem informações para a compreensão da distribuição espacial da população.

Estudos sobre a qualidade de vida da população em regiões com intenso processo de urbanização, foram realizados por Carrara et al. (1992) nos quais o elemento vegetação (importante para a qualidade de vida da população) é analisado quantitativa e qualitativamente através da utilização de dados orbitais, de forma a estabelecer um conhecimento sob o ponto de vista da distribuição espacial. Neste caso foram empregados índices de vegetação, elaborados com os dados espectrais dos sensores TM/Landsat (bandas TM3 e TM4) e XS-Spot (bandas XS 2 e XS 3).

Outra utilização dos dados de SR é na localização e caracterização de áreas de riscos de escorregamento e inundações. Estudos sobre essa problemática foram feitos por Okida e Veneziani (1994), que mostram que esta técnica é de aplicação rápida e de baixo custo, em contraposição aos métodos convencionais de zoneamento de áreas de risco, que exigem maior volume de trabalhos de campo, ensaios de laboratórios, etc.

Conforme apontam Quarmby e Cushnie (1989), atualmente estão sendo empreendidas pesquisas com o uso de dados Spot-HRV em combinação com dados digitais e informações de base para a planificação de uso da terra. Segundo eles, as mudanças ocorridas (transformações de uso de terra rural para residencial, comercial, industrial, etc.) podem ser monitoradas usando dados de SR, por fotointerpretação de pares de imagens de composição falsa-cor, realçadas, de diferentes datas ou por análise digital das imagens usando técnicas de detecção de mudanças.

Estudos sobre a integração de dados de expansão urbana e dados geotécnicos para o estabelecimento de critérios de ocupação de áreas urbanas, foram executados por Viera e Kurkdojian (1993), onde foi constatada a aplicabilidade dos dados de imagens orbitais, integrados através de SIG com dados geotécnicos, para indicar as áreas com restrições diferenciadas ao uso urbano. Neste mesmo estudo, constata-se a necessidade de obter informações complementares, provenientes de estudos específicos, como potencial geotécnico, fenômenos históricos e outros.

Foresti (1988, op.cit.) também qualifica a utilização dos dados e técnicas de SR para os impactos ambientais da expansão urbana com a utilização de imagens orbitais MSS-Landsat, TM-Landsat e HRV-Spot, numa análise multitemporal, com a utilização da técnica de registro semi automático de imagens, a partir da qual foi possível a identificação das alterações ocorridas na estrutura espacial urbana no período

estudado. Constatou-se que o monitoramento da expansão urbana através de dados e técnicas de SR, é a forma mais viável para este tipo de estudo.

Um aspecto muito importante em estudos deste tipo é o tipo de imagens a utilizar e sua resolução. Por um lado, uma boa resolução espacial pode fornecer informações de objetos e feições muito pequenas, importantes para observar mudanças em alguns elementos de interesse, mas as imagens com esse tipo de resolução, como as Spot-Pan, tem pequena resolução espectral, com uma única e larga banda.

Segundo Welch (1982), os dados de SR com resoluções espaciais de 0,5-10 m IFOV, são os requeridos para definir adequadamente os detalhes de alta frequência característicos das paisagens urbanas. Segundo ele, áreas com dimensões menores que 2 x 2 mm na escala do mapa, não devem ser incluídas no produto final. Anderson et al., (1976, apud Welch, 1982) assinalam que, antes de selecionar a resolução da imagem, é conveniente examinar o tamanho, densidade e contraste do ambiente urbano, já que esses parâmetros podem determinar a resolução requerida.

O estudo da estrutura interna das cidades através de dados de sensoriamento remoto requer, pelas dimensões e heterogeneidades dos elementos que a compõem, um produto de alto poder de resolução espacial e espectral (Kurkdojian e Li, 1989). Com a ajuda das técnicas de processamento de imagens, é possível o tratamento de dados com resoluções distintas. No caso da pesquisa realizada por estes autores, utilizou-se a transformação IHS (Intensidade, Matiz, Saturação) para integrar em um produto colorido dados Spot-XS e de aerofoto pancromática com resolução espacial de 3,5 m. Os resultados foram satisfatórios já que permitiu preservar a melhor resolução espacial da aerofoto e adicionar a ela a resolução espectral da imagem orbital.

Na ausência de produtos ideais, entretanto, mostra a bibliografia anteriormente citada a aplicabilidade de imagens TM-Landsat e Spot-XS, resultando em uma ausência de detalhes mas em uma visão geral importante, principalmente na falta de dados recentes. Nestes casos, a possibilidade de se misturar classes de ocupação do solo aumenta, exigindo dados de campo adequados, mais informativos que os necessários na disponibilidade de imagens com resolução de poucos metros de IFOV. Com estes dados, entretanto, o SR permite uma visão ampla e dinâmica dos fenômenos e processos que ocorreram e ocorrem na área analisada, além da rapidez e baixo custo da pesquisa.

2. OBJETIVOS

A temática desta pesquisa refere-se a duas vertentes principais: a primeira relaciona-se ao estudo, *grosso modo*, da dinâmica urbana da província *Ciudad de La Habana* (Fig.1). Na segunda vertente trata-se da confecção do mapa de ameaças potenciais de escorregamentos em encostas, através do estudo dos fatores condicionantes, num município da capital, o município de *Habana del Este* (Fig.2).

Os objetivos básicos propostos para cada vertente de estudo foram:

a) Dinâmica urbana.

- utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto, incluindo processamento digital de imagens multiespectrais e multitemporais e interpretação de fotografias aéreas pancromáticas para a análise da expansão urbana na província de *Ciudad de La Habana* da década de 1950 aos dias de hoje.

- fornecer o estado atual da ocupação do terreno no território com fins de planejamento.

b) Ameaças potenciais de escorregamentos

- utilização de um Sistema de Informação Georreferenciada (SIG-IDRISI) na análise de fatores condicionantes de instabilidade de encostas, para a identificação de áreas potenciais à ocorrência de escorregamentos.

- confecção do mapa de ameaças potenciais de escorregamentos do município de *Habana del Este* com fins de planejamento do território.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo se faz uma apresentação das características físico-geográficas e sócio-econômicas da região onde está localizado o município de *Habana del Este*. No caso da geologia e geomorfologia, a análise é feita a partir de trabalhos regionais que abrangem áreas e escalas diferentes que nesta pesquisa. Para a área que corresponde à província de *Ciudad de La Habana*, são apresentados alguns dados de interesse para a dinâmica urbana deste território desde sua fundação no ano 1519 até 1959, extraídos de González (1993).

3.1 Aspectos Gerais e dados significativos de *Ciudad de La Habana*

Ciudad de La Habana encontra-se localizada na região noroeste da Ilha de Cuba (Fig.1), limitada ao norte pelo mar Caribe, ao Sul, Leste e Oeste pelas províncias de *Habana*, *Matanzas* e *Pinar del Rio* respectivamente. A atual capital da República de Cuba foi fundada em 16 de novembro do ano 1519 com o nome de *Villa de San Cristobal de la Habana*. O pouco que puderam construir seus povoadores, foi destruído totalmente por piratas e corsários franceses nos anos de 1537, 1538 e 1555. A partir de 1561 começa em seu porto a concentração de navios espanhóis que, provenientes do centro e sul da América, partiam juntas rumo à Espanha. Tal fato tinha uma grande importância para a economia da Vila.

Em 1592 (primeiro centenário do descobrimento) constrói-se a primeira barragem e o primeiro aqueduto feitos pela Espanha em terras americanas.

Em 1757, a população atingiu 50 000 habitantes e foi necessário buscar outras áreas para assentamento, começando assim um vetor de crescimento em direção à zona sul.

Os primeiros planos realizados por Silvestre de Abarca e Carrillo de Albornoz são amostras importantes do crescimento da cidade durante os séculos XVIII e XIX. Nesta época a população era cerca de 100 000 habitantes.

Importantes acontecimentos tiveram lugar antes que esse plano se materializasse. A liberdade de comércio, o incremento das relações portuárias com os Estados Unidos e o desenvolvimento da intelectualidade foram alguns deles. Já nesta época, toda a América está libertada, excetuando-se Puerto Rico e Cuba, o que

implicou em governos mais repressivos na ilha de Cuba, o que teve implicações no desenvolvimento urbano.

Neste período (1830-1840) o urbanista da moda era L'Enfant, o qual desenhou a cidade de Washington e foi mal copiado em algumas das obras arquitetônico-urbanísticas executadas em Havana na época. Além da prosperidade econômica produzida pelo aumento dos preços do açúcar, o que mais contribuiu ao auge construtivo da cidade foi o conflito de interesses econômicos e políticos entre o capitão geral Tacón e Cláudio Martínez de Pinillos, conde de Villanueva, que era *entendente de hacienda*. Dessa contenda surgiram obras tais como a dragagem e limpeza da baía, aquedutos, a primeira ferrovia, pavimentação de várias ruas, excelente sistema de iluminação com óleo, modernização do passeio de extramuros, construção de teatros, parques, residências de fim de semana dos capitães gerais, o jardim botânico, entre outras.

Os precursores do urbanismo cubano foram Enrique Montoliev e Martínez Inclán, os quais desenvolveram nos anos vinte (1922) o primeiro esquema de plano diretor para Havana. O plano contemplou a criação de uma nova Plaza Cívica (centro político e administrativo) localizada no centro geométrico, ao redor do qual organiza-se o resto das zonas funcionais. O esquema completa-se com um sistema viário concêntrico à praça. Nesta época a população era de 650 000 habitantes.

A partir daí surgiram várias idéias e concepções mais integrais nos enfoques da cidade, iniciados por Pedro Martínez Inclán, mestre e mentor de várias gerações de urbanistas em Cuba. A influência dos bulevares parisienses são evidentes nas propostas dos eixos viários e na implantação de fontes e grupos de esculturas. Martínez Inclán expressou que suas idéias dotariam Havana de três individualidades artísticas: a cidade da arquitetura hispano-americana, a cidade dos jardins e flores e a cidade mais bem traçada da América espanhola. Também nessa época (1926) o paisagista francês Jean-Claude Forestier estrutura um plano de embelezamento e ampliação, onde o jardim como obra de arte desempenha um papel significativo.

Na década dos anos cinquenta, como resultado do fim da segunda guerra mundial, Cuba desfruta de uma situação econômica consideravelmente boa, resultando em propostas de desenvolvimento urbano. O plano de Eduardo Canás Abril mantém os principais critérios da década de vinte, somente incrementando áreas para atender ao

crescimento demográfico: em 25 anos a cidade cresceu em mais de meio milhão de habitantes. Não entanto, neste plano não há diretrizes dirigidas a minorar o crescimento excessivo.

Nos finais daquela década (1958) e durante a ditadura de Fulgêncio Batista, foi desenvolvido por várias figuras de renome internacional um plano dirigido, fundamentalmente, para elevar o prestígio do regime e para um melhor uso dos terrenos. Estes vieram a ser valorizados, com conseqüente enriquecimento das classes dominantes. Os critérios principais deste plano, o qual contempla a conformação de uma grande *Habana*, eram evitar estruturas rígidas que freassem a transformação, colocando-as em função do turismo e do tempo livre e estabelecendo cinco grandes focos: *Plaza Cívica*; Universidade de Havana; Avenida beira-mar; Centro Econômico e Centro Presidencial. Propunha também um forte incremento das zonas industriais ao redor da Baía e nas zonas do *Cotorro* e *Boyeros*.

Para os cálculos e balanço de áreas, utilizou-se uma cifra de população de quase quatro milhões de habitantes, número este calculado a partir do crescimento acelerado da população na época.

O plano diretor para a cidade de *La Habana*, elaborado entre os anos 1962 e 1964, dimensiona e delimita pela primeira vez o fenômeno da capital em seu verdadeiro alcance, até esta data formada por seis municípios independentes, sem uma autoridade central. Alerta sobre a necessidade de controlar o crescimento demográfico, com ênfase principalmente nos movimentos migratórios, uma vez que à época produzia-se um novo habitante a cada 13 minutos. Foi feito um estudo sobre as áreas verdes, cujo índice naquele momento totalizava só 1 m² por habitante, propondo-se elevá-lo para 18m² por habitante.

Também foi proposta a subdivisão da cidade em seis regiões com características de certa homogeneidade física e social, para estabelecimento de um centro de atividades em cada uma. O plano informa sobre as enormes perdas de água advindas do mal estado da rede distribuidora e chama atenção sobre a qualidade da atmosfera, fundamentalmente na zona portuária e sobre o lixão de *Cayo Cruz*. Algumas das diretrizes que foram materializadas são:

- zonas de construção maciça de moradias no Leste de *La Habana*, *Rancho Boyeros*, *Rodovia Central* e *La Lisa*;

- zonas industriais e de armazéns no Leste e em *La Lisa*;
- esquema de vias principais e anéis viários;
- zona de influência da Praça da Revolução;
- zona de núcleo histórico da *Habana Vieja*, tombando a área;
- localização de novas zonas de cemitérios e depósitos de lixo;
- estruturação da cidade; agrupamentos (de 1 000 a 2 000 habitantes), microdistritos (de 6 000 a 8 000 habitantes), distritos (de 25 000 a 30 000 habitantes) e regiões (de 100 000 e mais habitantes);
- divisão político-administrativa. Constituição de *Habana Metropolitana*, com poder central e estabelecimento de seis regiões.

O Plano Diretor de 1984 foi sem dúvida o estudo mais profundo e abrangente realizado até o momento nesta especialidade em Cuba. Esse trabalho foi feito durante quatro anos por uma equipe multidisciplinar composta por sessenta e sete profissionais e técnicos cubanos e catorze estrangeiros. Sua implantação foi prevista para até o ano 2030, que garantirá uma visão geral das linhas de crescimento para essa época e permitirá preservar esses territórios desde já, desenvolvendo sobre essa base uma alternativa leste-oeste com três variantes e uma alternativa radio concêntrica. A partir do Plano Diretor da cidade, pela primeira vez no país, estabeleceu-se um sistema de normas e disposições jurídicas e administrativas e um regulamento urbanístico.

A proteção do meio ambiente é um dos aspectos mais tratados, onde se analisam exaustivamente as potencialidade e restrições do território.

Uma rápida observação dos aspectos relevantes do desenvolvimento histórico de *La Habana*, mostra pelo menos duas características reiterativas. Uma é seu papel preponderante no mundo da Espanha colonial e outra a velocidade com que os avanços tecnológicos implantaram-se nela.

Entre estes, relaciona-se a *Zanja* (Aqueduto) *Real* (1592); o sistema de fortalezas (1779); a pavimentação das ruas (1780); a ferrovia (1837); o gás (1848); telégrafo (1855); telefone (1881); iluminação elétrica (1890); cinematografia (1897); automóvel e trolebus elétrico (1901); o rádio (1922); a televisão (1950) e muitos outros, comprovando a capacidade que sempre tiveram seus habitantes no campo do planejamento urbano e no urbanismo em geral. Na Figura 3 pode-se observar a

expansão territorial da cidade desde sua fundação (segundo Plano Diretor da Cidade, 1984).

3.2 Características do município *Habana del Este*

3.2.1 Características físico-geográficas e socio-econômicas

O município *Habana del Este* encontra-se localizado na parte nordeste da província *Ciudad Habana* (Fig.2), capital da República de Cuba. Ocupa uma superfície de 144 km² com uma população de 176 389 habitantes (segundo *oficina territorial de estadísticas de Ciudad Habana*, dezembro de 1995) e uma densidade populacional de 1224.9 habitantes por km².

O território encontra-se na parte oeste da planície norte Habana-Matanzas, sobre as seqüências de calcários e margas de idades Quaternárias e Miocênicas.

O relevo caracteriza-se por formas marinhas (costas de tipo abrasivo-cársticas) que se correspondem com a parte norte. Ao sul encontram-se formas abrasivas e abrasivo-denudativas e, pontualmente, relevo fluvial cumulativo e erosivo-cumulativo. Mais ao sul apresentam-se pequenas elevações estruturais e bordas denudadas.

De forma geral, a altura da costa diminui na direção leste, mas as elevações, a dissecação do relevo e a densidade do drenagem aumentam nesta direção. A zona marítimo terrestre de maior importância no território localiza-se entre o rio Tarara e o Rincon de Guanabo, onde desenvolvem-se as praias do leste, com um comprimento de 11km.

Na plataforma desenvolvem-se canais de direção leste-oeste e paralelos à linha de costa, assim como os paleocanais dos rios Guanabo e Justiz, os quais favorecem a fuga de areias litorâneas até as profundidades oceânicas.

A morfologia da paisagem costeira é bastante imprecisa pelo grau de antropização, existindo casos extremos em que as construções estão inclusive dentro do próprio mar.

A temperatura máxima do ar é de 36°C durante o período de julho e agosto. A temperatura média do mês mais quente é de 27,6°C. A temperatura mínima é de 9°C nos meses de dezembro e janeiro. A média do mês mais frio é de 22,2°C.

As precipitações estão regidas localmente pela altitude do território, distinguindo-se três faixas paralelas: na faixa norte as precipitações alcançam valores de até 1200 mm, no centro 1400 mm e no sul oscilam entre 1000-1800 mm/ano.

Os solos apresentam geralmente pouca espessura, raramente, entretanto, observa-se os horizontes C e D. Na parte norte do município, correspondente à faixa costeira, praticamente não se registra a presença de solos devido a desenvolvimento do carste, existindo sedimentos arenosos que cobrem as cavidades nas partes mais afastadas da zona de carste litorânea. Os solos que mais predominam são os de tipo cambissolo carbonático (*pardos com carbonato*).

Cerca de 98% da vegetação foi substituída, principalmente nas zonas de mangue. Essa substituição foi feita por plantações não adequadas às condições físico-geográficas, trazendo como consequência o incremento da erosão, sobretudo nas vertentes com altas declividades.

Na parte norte predomina a vegetação costeira baixa a subarbusiva. Paralela a esta, estende-se uma faixa de vegetação antropogênica, constituída por espécies exóticas do tipo matagal denso. Aparecem também gramíneas e casuarinas.

O município conta com um grande número de unidades de serviço, que incluem lanchonetes, centros de elaboração, centros noturnos etc. Outras unidades de serviço são representadas por creches infantis, casas da cultura, bibliotecas, escolas de enfermagem, escolas pedagógicas, de deficientes mentais, juvenil, de trabalhadores e camponeses, Faculdade de Geografia da Universidade de Havana, e outros. Possui ainda uma rede de agromercados, supermercados, postos de combustíveis, etc. Os serviços de saúde estão compostos por hospitais, centros de assistência social, clínicas odontológicas, óticas, policlínicas, médico da família e centros de higiene e epidemiologia.

Grande desenvolvimento apresenta o turismo no município, o qual forma parte do complexo chamado "Praias do Leste" que inclui as praias *Bacuranao, Mégano, Tará, Santa María, Boca Ciega e Guanabo*.

Dentre os recursos minerais, os materiais da construção são os mais representativos. O município possui 44 pedreiras com diferentes usos, das quais só duas estão em produção. Muitas destas áreas têm sido ocupadas pela população e por

empresas estatais e são, algumas delas, áreas de riscos com respeito a deslizamentos de encostas.

As características hidrológicas do município apresentam uma rede de drenagem deficiente ou inexistente na parte norte face à litologia local, a qual facilita o incremento da drenagem subterrânea. Na parte sul, a litologia condiciona a existência de uma complexa e densa rede de drenagem.

O litoral é afetado pelas correntes marinhas do golfo e a contracorrente continental, de diferentes direções e velocidades.

3.2.2 Principais características geológicas

Os primeiros estudos da natureza geológica de Cuba são datados no século passado, nos tempos coloniais (Fernández de Castro, 1881 apud Iturralde-Vinent, 1985a). Nos anos 30 desse século, com Thiadens (1937), começou um segundo estágio do estudo geológico de Cuba, feito fundamentalmente por geólogos norte-americanos e franceses, destinado à avaliação dos recursos energéticos e metalíferos do arquipélago, o qual durou até o ano 1958. Dentro do planejamento da economia cubana, o estudo sistemático da geologia do país ocupou um lugar destacado desde 1960, constituindo o terceiro estágio nos estudos geológicos. Os resultados obtidos têm permitido uma boa compreensão da estrutura crustal do país (Mossakovsky et al, 1989) e um conhecimento das principais unidades litológicas (Academia de Ciências da Bulgária, 1989), assim como uma base geológica geral para o cadastramento das jazidas e ocorrências minerais conhecidas (Lavandero et al., 1989 e Coutin et al.; 1988) consubstanciados, também, em mapas na escala 1:100.000 - 1:50.000 de grande parte da faixa dobrada, os quais mostram importantes elementos litológicos e estruturais locais. Esses mapas em escalas médias, feitos pelas regras do mapeamento lito-estratigráfico, fornecem uma informação litológica valiosa para os estudos geo-ambientais, melhor que os mapas base do mapeamento 1:250.000, em escalas cartográficas 1:100.000-1:50.000, feitos pelas regras do mapeamento crono-estratigráfico.

As atuais províncias de La Habana e Ciudad de La Habana, constituem a parte de Cuba que contava com mais estudos geológicos na década dos trinta, influenciando nisso, fundamentalmente, a localização geográfica.

No Arquipélago Cubano se podem diferenciar dos níveis estruturais diferentes: a faixa dobrada, formada na nomeada Orogenia Norte-Caribenha (Campaniano Médio até Eoceno Médio) e o neoaútóctono (Eoceno Superior - Quaternário). A essa faixa são agregados diversos terrenos formados em diferentes ambientes geotectônicos; ao norte se estendem porções da margem continental norte americana e no sul são conhecidas amplas exposições de rochas referidas a um possível micro continente sulino.; ofiolitos do Mesozóico tardio estão tectonicamente sobre a margem continental norte americana; e os ofiolitos são comumente cavalgados pelo arco de ilha cretáceo. Bacias superpostas e depressões de avanço (Maestrichtiano- Eoceno Médio) atestam o fim do arco e a ação da orogenia. Na parte sul oriental de Cuba existem amplos afloramentos do arco de ilha do Paleogeno. Desde o Eoceno Superior (na parte SE de Cuba, desde o Oligoceno), até a atualidade se tem desenvolvido uma cobertura cenozóica, autóctone.

A forma da Ilha Grande reflete bem a existência de duas direções disjuntivas melhor refletidas no relevo: a direção "Caimana"(NE) e a direção "Cubana"(NW).

Os grandes elementos de direção NE começaram ser conhecidos desde os anos 30 (Thiadens, 1937), mostrando em todos os casos um comportamento transcorrente sinistral, ao menos dentro dos movimentos orogenéticos (Mossakovsky et al., 1989). A direção cubana começou ter uma interpretação de cavalgamento a partir dos anos 40-50 (Flint et al., 1948; Hatten, 1958a,b), sendo esta descoberta fundamental para as ulteriores hipóteses mobilistas da formação de Cuba.

A formação de diferentes mega-blocos neotectônicos, limitados em grande parte pelas grandes falhas transcorrentes sinistrais de direção NE, com diferentes velocidades de subsidência, determina a existência em cada um deles de variações nas relações de fatores exógenos/ endógenos. Essas variações dão como resultado diferenças substanciais nos tipos de relêvos geral e local e nas espessuras gerais da cobertura eluvial sobre cada bloco. A atividade sísmica atual só tem manifestações (tremores) na parte oriental de Cuba, longe da área de estudo.

Na superfície da área de estudo e no resto do território das províncias *Habana* e *Ciudad de La Habana* afloram rochas da faixa dobrada e da cobertura cenozóica (Iturralde-Vinent, 1984). Na base da seção geológica há uma zona de diabasios e basaltos que atualmente está deslocada e misturada com fragmentos de diabasios, gabros, peridotitos e dioritos da associação ofiolítica, formando uma brecha tectônica.

Esta zona atinge uma espessura máxima de 700m e está localizada na base da seqüência vulcano-sedimentar do arco de ilha cretáceo. Esta última foi depositada em condições de mar profundo, já que ocorrem intercalações calcáreas com microfauna plantônica, existindo predomínio da granulometria fina. As rochas sofreram alguma deformação no Albiano Tardio e um grande deslocamento entre o Turoniano e o Campaniano. Os primeiros movimentos provocaram uma remobilização dos materiais crustais a um grau tal que são expostas rochas de ambiente profundo como dioritos, gabros e ultramafitos (Albear et al., 1985). Os movimentos posteriores provocaram uma maior remobilização e o dobramento da seqüência completa, finalizando a atividade magmática e concluindo conseqüentemente a etapa de desenvolvimento do arco de ilha. O principal deslocamento ao qual foi submetida a zona formada pelos ofiolitos de retro arco e as rochas do arco de ilha, está relacionado com o processo de cavalgamento na direção Norte sobre as fácies carbonatadas da margem continental, durante a orogenia cubana, dando como resultado a formação de um mega-melange tectônico, com elementos estruturais, disjuntivos de cavalgamento e plicativos, de direção E-W, complicados singeneticamente e posteriormente pela formação de falhas transcorrentes e distensivas de direções NE, N-S e outras. O mapeamento deste mega-melange é uma tarefa difícil. Na atual superfície, afloram misturadas litologias ofiolíticas, do arco e calcários e da margem continental, não se encontrando essas últimas dentro da área de trabalho. Dentro dos ofiolitos predominam serpentinitos e gabros, estando os primeiros muito mais intemperizados que os segundos, apresentando ambas litologias um gretamento muito intenso, cruzado. As rochas do arco de ilha estão representadas, principalmente, por andesitos e tufos, atualmente muito intemperizados, com gretamento em forma de malha.

No início do Eoceno, e desde o Paleoceno, ocorre uma mudança substancial no desenvolvimento da crosta do território, com seu encurtamento, criando-se as condições para o surgimento de uma nova etapa do desenvolvimento. Estes aspectos significam um novo zoneamento estruturo-faciológico. Neste trabalho só se faz referencia à zona de Jibacoa pela proximidade à área de estudo em questão. Na mesma, o Paleoceno está amplamente representado e observa-se um predomínio de rochas terrígenas e terrígeno-carbonatadas (Formações Mercedes, Apolo, Alkázar, Madruga, Via Crusis e Bacunayagua). As espessuras destes sedimentos tem variações

de aproximadamente 100 metros (Breznyanszky et al., 1985). O produto do intemperismo de estas rochas é fundamentalmente argilo-arenoso, o qual constitui um elemento fundamental da cobertura friável de grande parte da área.

No início do Eoceno Superior Tardio começa o desenvolvimento do regime de plataforma no território (Iturralde-Vinent, 1977). Com as novas circunstâncias, as formações anteriores foram retrabalhadas tectonicamente, exigindo o estabelecimento de divisões. Para isso, foram distinguidas duas grandes zonas (Iturralde-Vinent, op. cit.), a saber: "Grabem Batabano" e "Quasi-Grabem La Habana-Matanzas". Neste caso, como no anterior, só se analisará o "Quasi-Grabem La Habana-Matanzas". Compreende o território ao norte do sistema da falha Pinar-Habana até a margem da plataforma da ilha de Cuba na costa setentrional. É caracterizado pelas descontinuidades dos depósitos da cobertura. A seção é composta de margas do Eoceno Superior, Oligoceno e Mioceno Inferior e Médio, também de fácies marinhas pouco profundas, as quais intercalam-se ou transicionam a calcários e conglomerados de ambiente marinho pouco profundo. A seção do Mioceno Médio é carbonatada ou terrígena nerítica. Ao norte, de forma limitada, há depósitos calcários do Plioceno e Quaternário. As espessuras da seção são geralmente inferiores a 300m. O intemperismo das margas fornece um produto, de espessuras de até 12 m, predominantemente argiloso, de pouca estabilidade nos taludes. No litoral, os calcários apresentam marcados "dientes de perros" (lapies) de origem erosional. Mais longe do litoral, os calcários apresentam uma cobertura de até 7 m. de "terra rossa" (em calcários puros) ou solo pardo (em calcários margosos) (Iturralde-Vinent, 1985b).

Um dos objetivos desta pesquisa é a determinação de possíveis áreas afetadas por movimentos de encosta, para o qual é necessário a avaliação dos fatores que provocam e/ou provocaram instabilidade. Dentro destes, os fatores intrínsecos ao material, jogam um papel importante. A litología é um deles.

A seguir é feita uma breve descrição das formações geológicas que abrangem a área do município *Habana del Este* (Fig. 4).

As formações do Cretáceo tem ampla expressão em área, principalmente na parte Sur e Leste do município.

A Formação **Chirino** está composta pelas rochas vulcano-sedimentares do Cretáceo Pré- Neocomiano e estão intrudidas por corpos de porfiritas andesíticas e

andesito-basálticas. Essa Formação está representada pelos tufos litocristaloclásticos e cristalovitrocásticos de composição andesítica, freqüentemente zeolitizada e pelitizada desde muito finos até lapilíticos, com intercalações de tufitos (material com um conteúdo maior da porção sedimentar em comparação com a porção vulcânica).

Formação **La Trampa**: apresenta rochas efusivo-sedimentares e sedimentares de idade Albiano-Cenomaniano, composta principalmente pelos conglomerados, arenitos, siltitos, silicitas, calcários silicificados e grauvacas.

Formação **Via Blanca**: está composta por rochas do Cretáceo Superior (Campaniano-Maestrichtiano Inferior). A composição desta formação é argilitos, siltitos e arenitos de composição grauvaca com intercalações pouco espessas de calcários impuros, com alto conteúdo de material argiloso. Também apresenta conglomerados polimícticos em diferentes níveis de profundidades.

Formação **Peñalver**: é muito bem reconhecida pela litologia característica e sua associação com planaltos. Segundo Bronnimann e Rigassi (1963), constitui um ciclo clástico calcário de gradação singular. A porção basal é de granulometria grossa, maciça e a superior é de granulometria muito fina. O material clástico é geralmente biogénico ou de fragmentos de calcários e, mais raramente, rochas ígneas.

Formações Paleogênicas

Estão pouco representadas na área de estudo (na escala do mapa). São compostas por arenitos, siltitos, argilitos e margas.

A Formação **Capdevila** é muito bem estratificada, com as litologias variando gradacional e ritmicamente. Composta pelos calcários com conteúdo de argilas maciças que transicionam até calcários argilosos e argilas calcárias.

Formações da Cobertura Plataformai

O Neógeno está representado pelas formações **Cojimar** e **Guines**. A primeira apresenta dois tipos de litologias principais: margas calcárias a margas argilosas de textura grossa, e calcários organógenos de grão fino a médio. As margas e calcários estão interestratificados em camadas de 25-20cm de espessura. A seção está muito falhada, o que dificulta a determinação da espessura real, que, entretanto não supera os 50m.

Formação **Guines**: está composta de calcários maciços e organógenos com feições cársticas bem desenvolvidas superficialmente e em profundidade. Há calcários

coralinos, organógeno-detríticos, recristalizados, dolomitizados e argilosos. Num grau menor há dolomitos calcíticos, calcarenitos e calcários argilosos. A espessura é variada atingindo até 240m.

Formações Quaternarias

Estão bem representadas na área de estudo. Os depósitos eólicos da Formação **Santa Fé**, estão representados pelas pequenas dunas de composição calcarenítica de grão médio, porosas, de cor branca. Esta formação constitui paleodunas costeiras de idade Pleistocênica e sua gênese é relacionada ao transporte pelo vento na direção ao interior das areias calcárias praias, isoladas durante os estágios de regressão marinha (Iturralde-Vinent, 1985, op.cit.).

Formação **Vedado**: é caracterizada pelas rochas marinhas calcárias de idade pleistocênica que recobrem a Fm. Cojimar. A litologia compõe-se de calcários maciços de textura grossa, detrítica e fragmentaria e macroporosas. Contém lentes de 30 até 40cm de espessura, assim como fragmentos de calcários laminares de grão fino. As espessuras da formação ultrapassam os 100m. Esta formação corresponde-se com a primeira transgressão pleistocênica na costa Norte (Iturralde-Vinent, 1985, op.cit.).

Formação **Jaimanitas**: recobre a formação anterior e é bem desenvolvida no litoral Norte, representando uma importante transgressão marinha do Pleistoceno (Iturralde-Vinent, 1985a). Está formada por terraços recifais marinho-abrasivo e abrasivo-acumulativo localizados no contato com a costa. É composto por calcários recifais, maciços, porosos, de idade Pleistocênica média a superior. Caracteriza um ambiente típico costeiro, recifal, perirecifal e de praia. Os depósitos foram formados durante uma fase transgressiva bastante estável, que cobriu a zona litorânea da antiga ilha de Cuba (Iturralde-Vinent, 1985a, op.cit.).

3.2.3 Caracterização geomorfológica

O relevo de Cuba é caracterizado pela sua grande complexidade e diversidade devido aos resultados da interação dos fatores internos e externos. Estas feições podem ser resumidas na seguinte expressão: "Um importante papel tem sido desempenhado tanto pelos movimentos horizontais quanto pelos verticais. Os primeiros provocaram as morfoestruturas dos mantos de cavalgamento oferecendo uma clara expressão geomorfológica, enquanto os verticais formaram blocos geotectônicos

de diferentes magnitudes. Estes processos ocasionaram diferentes categorias de relevo tais como: montanhas, planaltos e planícies na área emersa e a plataforma submarina, talude da ilha, cadeias de ilhas, bacia e fossas profundas no fundo marinho" (Díaz, et al. 1990).

As montanhas estão distribuídas em forma de grupos isolados, separadas pelas planícies e pertencem a regiões com elevações neotectônicas moderadas a intensas, com amplitudes de 500 a 2.000 metros e diferentes estilos tectônicos, sugerindo um prolongado processo de modelação.

Os planaltos estão localizados em pequenas áreas isoladas do território e associados a sistemas montanhosos ou formando grupos isolados. São o resultado de soerguimentos neotectônicos fracos e moderados, com amplitudes de até 300m ou constituem restos de superfícies de maior altitude. O relevo está determinado em grande parte pelos processos geomorfológicos principais. Por exemplo, os planaltos petromórficos são o resultado da erosão seletiva.

As planícies ocupam quase 2/3 do território de Cuba e correspondem-se com as zonas de soerguimentos neotectônicos pouco intensos ou depressões relativas, cujas amplitudes são inferiores aos 100m e somente nas partes centrais e mais elevadas do território atingem a 200m ou mais.

Na área de estudo há um predomínio de planícies e planaltos. Segundo o fator genético predominante, distinguem-se os seguintes tipos de planícies (segundo o mapa geomorfológico das províncias de *La Habana* e *Ciudad de La Habana* escala 1:250 000 do ICGC e IG, 1987-Fig. 5).

Planícies marinhas abrasivas e abrasivo-denudativas, muito baixas, peniplanizadas e carstificadas. São localizadas na faixa costeira norte com altitudes de 5-7 m. Fundamentalmente desenvolvidas na Formação Jaimanitas (Q_{II} - Q_{III}) com preponderância de calcários organogênicos recifais e sedimentos aluviais, argilas e areias.

O relêvo cárstico está bem desenvolvido nesta zona e observa-se extensos campos de *lapies*. A superfície da planície está suavemente inclinada para o mar, com terraços escalonados que, às vezes, desvirtuam-se pela superposição das dunas. Segundo Iturralde Vinent (1985a), o agente principal da formação das dunas, associa-

se com períodos de regressão marinha, quando ficam grandes praias descobertas, cujas areias são carregadas pelos ventos alíseos terra adentro.

A faixa costeira está caracterizada por um conjunto de terraços holocênicos e pleistocênicos com diferentes níveis, que vão de 1-1,5 m até 20-25 m de altitude. Segundo Ionin et al. (1985, apud Elias Ramirez, 1989), a formação do relevo da zona costeira de Cuba ocorreu sob a ação dos processos das ondas do mar, com abundante chegada de material biogenético e quimiogenético desde o fundo, e de aluviões das regiões montanhosas.

Planícies flúvio-marinhas, deltáicas, muito baixas, planas, parcialmente pantanosas, com altitudes de 0-3 m até 5-7 m. Desenvolvidas fundamentalmente sobre depósitos aluviais, argilas e areias do Quaternário (alQ_{IV}).

Planícies fluviais essencialmente erosivas, altas, com forma de colinas, com altitudes maiores que 25 m, desenvolvidas nos depósitos do Cretáceo.

Planícies fluviais, erosivas e erosivo-acumulativas, onduladas com altitudes de 8-15 e 20-25 m, localizadas sobre os depósitos do Cretáceo (k₂) da Formação *Via Blanca* composta de argilitos, areno-siltitos e arenitos.

Planícies fluviais, acumulativas e erosivo-acumulativas, baixas e planas. Altitudes entre 1-2 m e 4-6 m. Formação *Via Blanca*.

Planícies denudativa-erosivas, de superfícies erosivas, onduladas, com altitudes de 80-120 m localizadas na porção sul do território e desenvolvidas sobre os depósitos do Cretáceo.

Planícies denudativa-erosiva, de superfícies erosivas, onduladas e colinosas (40-45 e 50-60 m de altitude).

As planícies marinhas que estão distribuídas na periferia da ilha de Cuba, apresentam superfícies em forma de terraços desde 100-200 m até o nível do mar. As superfícies mais altas, com uma evolução mais prolongada, são consideradas de modo geral abrasivas e abrasivo-denudativas (80-90 e 100-120 m) e estão relativamente dissecionadas. As superfícies inferiores mais jovens são predominantemente abrasivas e abrasivo-acumulativas, planas e com pouca ondulação.

Como pode se perceber no mapa geomorfológico da área de estudo (extraído do mapa geomorfológico das províncias de *La Habana* e *Ciudad de La Habana*, ICGC e IG, 1987), no município *Habana del Este* há um grande desenvolvimento das planícies

marinhas e fluviais com altitudes na faixa de 0-25 m. Nestas zonas baixas é onde preferencialmente existem as condições para a ocorrência de inundações nas grandes chuvas.

Outras das formas do relevo que caracterizam a área de estudo são os **Planaltos**, que se classificam em Cuba, de acordo a sua altitude, em Grandes (>200m), Médios (120-200 m) e Baixos (até 120 m). Sua composição litológica é muito diversa e complexa, encontrando-se rochas ultrabásicas, básicas, vulcano-sedimentares, terrígenas e rochas margosas.

Segundo Iturralde Vinent (1985a), as rochas ultrabásicas tem um relevo peculiar, formando planaltos cônicos ou maciços de complexo relevo de colinas, nos quais observa-se muito pouca vegetação. As rochas vulcano-sedimentares não tem uma expressão morfológica característica, geralmente formando elevações médias. As rochas carbonatadas-terrígenas tem uma expressão própria, dando lugar a pequenas elevações alinhadas com taludes abruptos e sua parte superior arredondada. As rochas terrígenas são sujeitas à erosão, impondo bem paisagem ondulada ou de colinas. As rochas margosas afloram associadas a sedimentos terrígenos e vulcano-sedimentares, e formam pequenas colinas arredondadas.

De acordo com o mapa anteriormente referenciado, distinguem-se os tipos seguintes de planaltos:

Planaltos de horst e bloco em dobramento monoclinal, tectonico-erosivo, em cadeias, maciços e dissecados, **médio**, com altitudes de 120-200m.

Planaltos de horst e bloco em dobramento monoclinal, tectonico-erosivo, em cadeias, maciços e dissecados, **pequenos**, com altitudes até 120m.

Planaltos de horst e bloco em dobramento monoclinal, tectonico-erosivo, em cadeias, dobrado, dissecados, **médios**, com altitudes de 120 200m.

Planaltos de horst e bloco em dobramento monoclinal, tectonico-erosivo, em cadeias, dobrado, dissecados, **pequeno**, com altitudes até 120m.

Planaltos de horst e bloco em dobramento monoclinal, tectônico-estruturais, de bloco, em cadeias, em forma de terraços, carstificados, **pequenos**, com altitude até 120m.

São localizados na continuação da planície marinha costeira, numa faixa ao longo de toda a área em estudo. Desenvolvida sobre depósitos do Neógeno (N_1^{1-2}) da Formação Güínes, composta de calcários maciços e organogênicos.

3.2.4 Tipos de solos

A fonte de dados fundamental para a caracterização dos tipos de solo do município foi o mapa de solos da província de *Ciudad de La Habana*, na escala de 1: 25. 000 confeccionado pelo Ministério da Agricultura, publicado em 1989.

Como pode-se observar no mapa (Fig.6), a parte Norte do território não foi mapeada, já que nesta faixa o desenvolvimento dos solos é muito pobre, existindo apenas sedimentos arenosos cobrindo as cavidades nas partes mais afastadas do *karst* litorâneo. É de se supor que não foram cartografados pela pouca importância que tem para a agricultura.

De forma geral, na maior parte da planície com terraços que se encontra na parte mais próxima do litoral, existem solos carbonáticos. Nas áreas perto aos rios e lagoas são solos cambissolos argilosos e arenosos carbonáticos com grande conteúdo de matéria orgânica assim como solos aluviais. Nas ladeiras encontramos solos cambissolos vermelhos, na maioria das vezes com pequenas espessuras e erodidos.

Os solos mais estendidos na área de estudo pertencem ao tipo cambissolo carbonático (*pardo con carbonato, típico*) e aluvial. Dentro dos primeiros o subtipo que predomina é o típico, com material basal (proveniente do basamento) composto de arenitos calcários com espessuras médias (20-50cm).

A classificação adotada para a confecção do mapa de solos de *Ciudad de La Habana* inclui várias categorias taxonômicas como são Tipo, Subtipo, Gênero, Espécie, etc. Na legenda do mapa confeccionado pelo Ministério da Agricultura aparecem diversos parâmetros físico-mecânicos (erosão, textura, saturação, profundidade, declividade, entre outros) dos quais foram utilizados, para a análise de instabilidade, os seguintes:

- solos medianamente saturados (40-75%)
- solos saturados (>75%)
- solos profundos (51-100cm)
- solos muito profundos (>100cm)

4. NATUREZA DOS DADOS E METODOLOGIA

4.1 Ameaças geológicas

4.1.1 Introdução

A ocorrência de escorregamentos no município *Habana del Este* não é um fenômeno comum mas tem ocorrido esporadicamente, causando danos e perdas materiais, em virtude, principalmente, da ação do homem sobre o meio físico.

Devido à diversidade de fatores que influem no processo de instabilidade, é necessário, em seu estudo, a utilização de técnicas capazes de armazenar, analisar e reproduzir dados de uma forma rápida e a baixo custo. Os Sistemas de Informações Georeferenciadas (SIGs) compoem hoje a técnica mais usada em estudos deste tipo.

Como já foi apresentado no capítulo 1, o mapeamento indireto consiste na aquisição de um grande número de parâmetros que potencialmente afetam o movimento de massa/escorregamento. No caso desta pesquisa foi analisado um conjunto de fatores considerados como possíveis causas de movimentos de massa.

Dentre os fatores analisados, foram considerados mais importantes as declividades das encostas e os parâmetros de solo, bem como a ocupação do terreno, principalmente a antrópica.

4.1.2 Programas utilizados

Pelas características da pesquisa foi necessária a seleção de um software que permitisse a entrada de dados vetoriais e que fosse compatível com um sistema de operação raster. No primeiro caso foi utilizado o programa TOSCA nas versões 2.0 e 2.12 e o programa raster adotado foi o IDRISI nas versões DOS (versão 4.1) e IDRISI for WINDOWS (versão 2.0). Mesmo que os dados sejam armazenados de forma vetorial, é preciso transformá-los em raster para a análise e visualização, devido a forma de operação do software IDRISI.

O software TOSCA é desenhado para a entrada de dados vetoriais, constituindo um meio para a coleta, armazenamento e criação de dados. Também é um meio para interligar dados entre o IDRISI e outros softwares ou para a preparação da entrada de dados primários e a sua apresentação final.

Este software simplifica a utilização de vetores, criando e modificando os dados vetoriais. Ele roda no sistema operacional DOS, requerendo um mouse, um monitor VGA, e pelo menos 460K de memória RAM.

Os arquivos vetoriais (.vec) gerados através da digitalização no TOSCA contém os identificadores e as coordenadas que definem as feições do vetor (ponto, linha, polígono ou texto). Cada arquivo vetorial deve estar acompanhado de um arquivo de documentação (.dvc) que contém as informações do arquivo vetorial (tipo de objeto, sistema de referência, unidades de referência, coordenadas, etc.) o qual é criado automaticamente pelo programa.

O software IDRISI é um Sistema de Informações Geográficas (SIG), utilizado em processamento de imagens, análise estatística, apoio à decisão e análise de séries temporais (Estman, 1997), desenvolvido pelos Laboratórios de Tecnologia Cartográfica, um dos centros do Instituto George Perkins Marsh da Escola de Pós-Graduação em Geografia da Universidade de Clark, em Worcester, Massachusetts, E.U.A. É um sistema baseado em *grid* que recebe um conjunto de módulos de programas que podem ser vinculados através de um menú.

Neste programa, os dados vetoriais recebidos são transformados em forma digital e ajustados a um mesmo referencial espacial. Este software permite que a tela seja reproduzida em papel, numa forma fácil e rápida.

Além da entrada de dados através do Tosca, o IDRISI permite a importação de dados em outros formatos, como por exemplo (.TIF), (.DXF) e (.BMP), utilizando para isso os comandos TIFIDRISI, DXFIDRISI e BMPIDRISI respectivamente.

4.1.3 Coleta e tratamento dos dados disponíveis.

Para a presente pesquisa foram obtidas as seguintes informações básicas:

- Mapa geológico das províncias *Habana* e *Ciudad de La Habana* em folhas 1:50.000 e seu texto explicativo.
- Mapa geomorfológico (tipos e formas de relevo) das províncias de "*La Habana*" em escala 1:100.000.
- Mapa de solos da província *Ciudad de La Habana* em escala 1:25.000.
- Folhas topográficas em escala 1:25.000 da área correspondente ao município *Habana del Este*.

- Folhas topográficas em escala 1:50.000 da área de *Ciudad de La Habana*
- Fotografias aéreas em escala 1:62.000 do ano 1956 para a província *Ciudad de La Habana*.
- Imagem XS-SPOT de 1987
- Imagem TM-LANDSAT de 1996.
- Outros tipos de dados urbanos obtidos nos órgãos de planejamento físico de *Ciudad de La Habana*, como dados de população desde 1987 até dezembro de 1995, relatório sobre fatos vitais demográficos do primeiro semestre de 1996 e relatório preliminar do censo de bairros e focos insalubres de 1996.

A partir da digitalização destas informações, foram gerados os seguintes planos de informação: limite da área de estudo, mapa de solos, mapa geomorfológico, mapa geológico, mapa contendo as curvas de nível e mapas das principais rodovias e ferrovias. Outros planos de informação foram gerados do cruzamento, interpretação, processamento e classificação das informações anteriores: Mapas de Solos com diferentes propriedades físico-mecânicas, Modelo Numérico de Terreno (MNT), Classes de Declividades, Mapas de Ocupação do Terreno em 1956, 1987 e 1996, Dinâmica urbana de 1956 a 1987; de 1987 a 1996; e de 1956 a 1996, e o Mapa de Ameaças Potenciais de Escorregamentos do Município *Habana del Este*.

Com a finalidade de fazer análise e comparação de dados e atributos espaciais de informações multi-temáticas, foram convertidos para imagens raster cada um dos planos de informação disponíveis. Primeiramente foram digitalizadas cada uma das cartas (mapas de contato). Estes arquivos vetoriais produzidos foram editados no TOSCA, e gerados polígonos com o uso do módulo CYCLE. Foi criada, em cada caso uma imagem inicial (módulo *INITIAL*) onde posteriormente foram “colados” os arquivos vetoriais mediante o módulo *POLYRAS* o qual transforma esses dados vetoriais em imagens raster. No caso das curvas de nível, ou outros tipos de arquivos, em que o tipo de objeto são linhas, essas transformações foram feitas no módulo *LINERAS*. A imagem inicial, em todos os casos, foi criada numa resolução igual à resolução da imagem TM-Landsat (25 m) para permitir a correlação entre estas. Os dados obtidos da imagem SPOT foram produzidos com resoluções espaciais de 20m (tamanho do pixel da imagem SPOT) e 25m (tamanho do pixel reamostrado da imagem LANDSAT adquirida).

Foi criado um banco de dados georreferenciado, tendo como base as informações básicas obtidas para a presente pesquisa. A criação deste banco foi feita no comando *DATABASE WORKSHOP*, o qual permite uma série de operações com as informações tabulares armazenadas. Dentro dessas operações, a mais eficiente é a que possibilita uma ligação direta (*hot link*) entre o banco de dados e o mapa que se encontra na tela. Neste caso, as análises na base de dados são imediatamente refletidas no mapa.

O acesso ao banco de dados para consultas pode ser feito de duas maneiras: localização por classes ou por atributos. No comando "consulta por localização", é possível obter todas as informações necessárias, só com o apontamento em tela da área desejada. No módulo consulta por atributo o *DATABASE WORKSHOP* oferece a possibilidade de consultas complexas que associam a localização espacial com os diversos parâmetros (atributos) relacionados no banco de dados georreferenciados.

4.1.3.1 Geração do Modelo Numérico de Terreno (MNT)

As superfícies topográficas são matrizes de dados que têm em cada ponto um valor para a terceira dimensão. Para que estes dados sejam visualizados, é necessário, primeiramente transformar as informações brutas (neste caso as cotas, em pontos dispersos ou curvas de nível), numa rede de pontos *grid* igualmente espaçados com os valores da terceira dimensão interpolados. Esse modelo é freqüentemente denominado MNT (Modelo Numérico de Terreno) ou MDE (Modelo Digital de Elevação).

Para a confecção do MNT foi necessário um trabalho prévio, o qual consistiu na seleção dos intervalos das curvas de nível a serem digitalizadas, sendo esta seleção não somente quantitativa, já que nas áreas com relevo importante para nosso estudo foram escolhidas as curvas representativas de mudanças e particularidades próprias desta zona.

Devido à densidade de curvas de nível e a presença de zonas urbanas, estas últimas apresentadas coloridas no mapa, não foi possível digitalizar diretamente sobre a folha topográfica, sendo necessário previamente realçar as curvas escolhidas e posteriormente prepará-las em papel vegetal para finalmente digitalizá-las. Este trabalho foi realizado em 8 folhas topográficas escala 1: 25.000, que abrangem a área de trabalho.

É importante ressaltar que a digitalização sobre o papel vegetal não alterou a precisão dos trabalhos. O *snap tolerance*, que representa o erro posicional, não deve ser maior que o RMS (raiz média quadrada) permitido e não deve ser menor que o RMS dado quando selecionam-se os pontos de controle. Neste caso, utilizando a escala 1: 25.000, o RMS máximo permitido é de 7.7, e em nenhum caso o *snap tolerance* foi maior que esse valor ou menor que o RMS dado.

Após o processo de digitalização das curvas de nível, foi realizada a edição destas, que consistiu no fechamento de cada um dos nós dos arcos digitalizados. A seguir generalizaram-se as curvas de nível pelo comando *LINEGEN* do IDRISI para obtenção de curvas mais suavizadas, porém sempre mantendo sua configuração primária. Com o arquivo vetorial da topografia completamente editado e com todas as suas linhas identificadas com as respectivas cotas, passou-se então à obtenção do MNT.

O primeiro passo foi a construção de uma imagem raster inicial (módulo *INITIAL*), onde se define o número de linha e colunas, bem como o valor máximo e mínimo das coordenadas X e Y.

O passo seguinte foi a transformação do arquivo vetorial numa imagem raster, feito através do comando *LINERAS*. Concluído este processo, realizou-se a operação designada no IDRISI de *INTERCON*, onde a imagem raster topográfica foi transformada numa perspectiva tridimensional ou Modelo Numérico de Terreno. Os resultados iniciais não foram satisfatórios, dificultando a definição de detalhes do terreno, sendo necessária a realização de um trabalho de correção, filtragem e incorporação de dados nas áreas que apresentavam maiores distorções.

Apesar de ter sido feito um trabalho para melhorar os resultados obtidos inicialmente do interpolador *INTERCON*, a obtenção do MNT dentro do programa de trabalho (software IDRISI) não se mostrou um procedimento adequado, principalmente em zonas onde o relevo é caracterizado por planícies. Nestas regiões, o maior espaçamento entre as curvas de nível provoca deformações nos resultados da interpolação, como os segmentos de reta de posição aleatória presentes na Figura 7.

4.1.3.2. Utilização de vários interpoladores do programa SURFER 6.0.

Levando em consideração os resultados que foram obtidos dentro do IDRISI e a importância do mapa de declividade (a obter do MNT) para esta parte da pesquisa, optou-se por utilizar outro programa para a interpolação dos dados. Experiências de outros pesquisadores, que já haviam observado resultados semelhantes (apresentados no II Simpósio de Usuários de Idrisi), também reforçaram a idéia da utilização de outro programa para a interpolação dos dados. O software escolhido foi o SURFER 6.0.

A partir da análise das recomendações que o programa oferece para a escolha do método de interpolação mais apropriado aos dados do usuário, e pela experiência apresentada anteriormente, foram selecionados os seguintes interpoladores:

- inverso da potência da distância (*inverse distance to a power*)
- curvatura mínima (*minimum curvature*)
- krigagem (*kriging*)
- triangulação com interpolação linear (*triangulation w/ linear interpolation*)
- vizinhos mais próximos (*nearest neighbor*)

Cada um desses métodos de interpolação apresentam vantagens e desvantagens na sua aplicação dependendo dos tipos de dados a serem utilizados, daí a importância do conhecimento dos princípios básicos de funcionamento de cada interpolador que serão apresentados segundo instruções do próprio programa SURFER 6.0.

Inverso da Potência da Distância (resultados na Fig.8)

Este método é um interpolador por médias ponderadas. O parâmetro de potência controla como os fatores de ponderação diminuem conforme as distâncias da malha aumentam. Quando as potências são grandes, aos dados mais próximos são dadas frações de ponderação maiores. Para potências menores, os pesos estarão mais uniformemente distribuídos entre os pontos. A primeira providência a ser tomada está na escolha de uma potência adequada. Potências baixas tendem a suavizar os valores extremos, enquanto potências elevadas tendem a realçá-los. Pode ser um interpolador tanto exato como aproximado. Este método é rápido mas tende a generalizar padrões de contornos concêntricos ao redor dos dados pontuais, chamados olhos de boi (*bull's-eye*).

Curvatura Mínima (resultados na Fig.9)

É muito usado nas ciências da terra. A superfície interpolada gerada é análoga a uma placa delgada passando através de cada um dos valores dos dados com a mínima curvatura possível. No entanto não é um interpolador exato. Este método gera superfícies suaves tentando ser o mais fiel possível aos dados e tem a vantagem de ser rápido para arquivos que contêm muitos dados.

Krigagem (resultados na Fig.10)

A krigagem gera superfícies e contornos visualmente bem definidos a partir de um conjunto de dados espaçados irregularmente. A krigagem permite mostrar tendências sugerida nos dados. Pode ser um interpolador exato ou aproximado, dependendo dos parâmetros especificados pelo usuário. Geralmente os dados são ajustados através de um modelo de variograma apropriado. É um método muito flexível utilizado para a interpolação de quaisquer tipos de dados.

Triangulação com Interpolação Linear (resultados na Fig.11)

É um interpolador exato cujo princípio é o de criar triângulos através de linhas que interligam pontos. Esses pontos são conectados de tal forma que nenhum triângulo é interceptado por outro triângulo. O resultado é uma superfície formada por faces triangulares distribuídas por toda a malha. A triangulação funciona melhor quando os pontos dos dados estão distribuídos regularmente na malha. O conjunto de dados que contém áreas esparsas resultam em faces triangulares distintas nas superfícies.

Vizinhos mais Próximos (resultados na Fig.12)

Este método liga o valor do dado do ponto mais próximo a cada nó da malha. É útil quando os dados estão numa malha e necessitam ser convertidos para um arquivo de malha do SURFER. Pode ser utilizado, também, no caso dos dados estarem próximos a uma malha onde faltam poucos valores. Este método é eficiente no preenchimento de vazios (áreas sem informação) no conjunto de dados.

A utilização de vários interpoladores teve como objetivo a seleção do melhor método de interpolação, de acordo com os dados da área de estudo, para a obtenção do resultado mais compatível com a realidade do terreno. A partir do modelo selecionado gerou-se o mapa de declividade, que foi confeccionado no IDRISI.

Os resultados obtidos pelos interpoladores "Inverso da Potência da Distância" e "Vizinhos mais Próximos", apresentam um alto grau de generalização, não sendo

observadas pequenas mudanças dos dados. Esses métodos delimitam muito bem as grandes unidades do relevo, como pode ser observado nas Figuras 8 e 12 respectivamente. No caso do método da Triangulação, devido ao seu próprio princípio de funcionamento, foram gerados contornos triangulares que não mostram a realidade dos dados. A distribuição irregular dos dados introduzidos (zonas de planícies e planaltos) também influenciou nos resultados.

Os melhores resultados obtidos para a área de estudo foram fornecidos pelos métodos da Curvatura Mínima e da Krigagem. No caso da Krigagem, resultou um modelo que reflete com clareza pequenas diferenças, sem distorcer (formando segmentos de reta, como no caso do IDRISI) o contorno da isolinha. Nos mapas que apresentam estes dois modelos (Figs. 9 e 10), e que compreendem a faixa litorânea do Norte do município, aparecem manchas em branco que são resultado da existência, nesta zona, de areias das praias do Leste da Havana, onde a altitude (praticamente zero) mantém-se ao longo de todo litoral.

Depois de analisar os resultados obtidos na utilização de cada interpolador, o método da "Curvatura Mínima" foi selecionado como sendo o de melhor compatibilidade com os dados.

Apesar de ser um interpolador que gera superfícies suavizadas, os detalhes podem ser observados com facilidade. Pequenas áreas com mudanças significativas no relevo são bem delimitadas neste interpolador. Os resultados obtidos para áreas que já tinham sido afetadas por algum tipo de Movimento de Massa (Faixa vermelha no sentido Leste-Oeste na Figura 9), consolidou ainda mais a decisão de utilizar este Modelo para gerar o mapa de declividade. Outras zonas com relevos íngremes, embora com pouca ocupação urbana (de menor interesse para o mapa de ameaças potenciais de escorregamentos), também foram detalhadas neste método de interpolação. Para uma melhor visualização o modelo foi reclassificado em 14 classes (intervalos de 10 em 10 metros de altitudes) e é apresentado na figura 9.

4.1.3.3 Obtenção do mapa de declividade

Dentro das opções que o módulo *SURFACE* do IDRISI oferece estão a determinação da declividade e aspecto. A primeira é determinada calculando-se o máximo de declividade ao redor de cada pixel no eixo X e Y, podendo os dados serem apresentados em graus ou porcentagem. A declividade em porcentagem representa a tangente do ângulo vezes 100, sendo um ângulo de 45 graus igual a 100%. O aspecto é determinado pela orientação da vertente em cada pixel.

Neste estudo, foi obtido através deste módulo e tendo como dados de entrada os diferentes modelos obtidos no SURFER, seis mapas de declividade expressos em graus, dos quais foi selecionado o que apresentou melhores resultados, tendo sido obtido através da interpolação pelo método da Curvatura Mínima, refletindo mais fielmente as particularidades do relevo da área de estudo. O detalhe que esse mapa fornecem (as declividades são dadas em intervalos de menos de um grau) não permite delimitar visualmente as áreas com diferentes inclinações. Com o intuito de conseguir uma melhor visualização das áreas com diferentes inclinações, a imagem foi classificada, resultando na Figura 13.

Foi realizada uma reclassificação em três intervalos de declividade (de 0-10, de 10-20 e maiores de 20 graus. Essa divisão foi feita com o objetivo de cruzar esses intervalos de declividade com cada um dos outros fatores que favorecem a ocorrência de escorregamentos. Procurou-se classificar as declividades em poucas classes para facilitar as operações aritméticas com as imagens, além de obter intervalos que representem diferentes graus de susceptibilidade a escorregamentos.

O mapa de declividade foi gerado em graus e em porcentagem (%), obtendo-se uma melhor visualização do relevo com o mapa em porcentagem, o qual foi reclassificado em seis intervalos e é apresentado na figura 14.

4.1.3.4 Características físico-mecânicas dos solos

Os diferentes tipos de solos do município *Habana del Este*, foram extraídos do mapa de solos da província de *Ciudad de La Habana*, na escala 1:25.000. Esses arquivos vetoriais foram digitalizados no TOSCA e convertidos em imagem *raster*, utilizando os mesmos procedimentos já explicados anteriormente.

No processo de análise dos dados, uma ferramenta utilizada foi a classificação e reclassificação de dados contidos nas imagens criadas. Esse trabalho foi feito com o módulo *RECLASS*, que é destinado à classificação e reclassificação de dados armazenados em imagens ou arquivos de valores de atributos. Este módulo engloba novas categorias de números inteiros, onde se dividem intervalos iguais numa escala de dados ou aplicam-se limites definidos pelo usuário. As diferentes cartas de solo geradas a partir do mapa de solos da província *Ciudad de La Habana*, foram obtidos nesse módulo do IDRISI.

Devido à quantidade de informações relevantes contidas no mapa pedológico (Fig.6), o mesmo foi utilizado para produzir diferentes cartas que mostram tipos de solos com parâmetros físico-mecânicos de interesse para a pesquisa. Estas informações interessam tanto para a localização de áreas susceptíveis a escorregamentos, quanto para os órgãos de planejamento físico-territorial. Algumas dessas cartas, conjuntamente com outras informações, foram analisadas em ambiente SIG na geração do mapa de ameaças do município.

4.1.4 Cruzamento de informações em ambiente SIG

Entre as técnicas de geoprocessamento com maior facilidade de aplicação estão as operações lógicas ou Booleanas (Start e Estes, 1990), que consiste no cruzamento (*overlay*) de dois mapas diferentes, cuja área de interesse tem valor 1 (um) e a área sem interesse valor 0 (zero). O resultado deste cruzamento é um mapa onde as áreas de interesse dos mapas de entrada têm valor 1 (um). Também podem-se utilizar operações de soma e multiplicação. Na multiplicação qualquer parte do mapa final onde ocorra um zero nos mapas componentes, será também zero.

Outro processo utilizado é o ponderado, que consiste em atribuir pesos aos diversos fatores que estão sendo analisados, de acordo à importância que tenham no fenômeno procurado.

Nesta pesquisa utilizaram-se técnicas de geoprocessamento que permitem a seleção de áreas de interesse a partir de informações temáticas, fundamentalmente através das técnicas booleanas e de ponderação.

As técnicas booleanas foram utilizadas principalmente na obtenção dos mapas da dinâmica da ocupação urbana nas diferentes datas analisadas, assim como na

delimitação das áreas de estudo, tanto do município, quanto da província, uma vez que as fontes das informações temáticas vinham de estudos regionais, abrangendo áreas muito maiores que a área de pesquisa.

A ponderação (atribuição de pesos a cada fator analisado) foi definida considerando a favorabilidade de cada fator à ocorrência de escorregamentos, cruzada com as classes de declividades obtidas da classificação (em três intervalos) do mapa de declividade. Os fatores considerados, foram:

- Áreas muito urbanizadas (MURB)
- Áreas urbanizadas (URB)
- Áreas pouco urbanizadas (PURB)
- Solos saturados (SOLSAT)
- Solos medianamente saturados (SOLMSAT)
- Solos muito profundos (SOLMPROF)
- Solos profundos (SOLPROF)
- Declividades de 0-10 graus
- Declividades de 10-20 graus
- Declividades > 20 graus

4.1.5 Identificação de áreas potenciais à ocorrência de escorregamentos

A abordagem das ameaças de escorregamentos feitas neste estudo é regional. Embora feições estruturais possam desempenhar um papel fundamental, sua ação é pontual e foge do escopo deste trabalho. No entanto, nas áreas mais susceptíveis, foi feita uma análise dos principais elementos estruturais, principalmente falhas, fraturas e direção do mergulho das camadas. Este último fato é muito importante em estudos de escorregamentos. Camadas que mergulham na mesma direção da declividade podem ser consideradas áreas potencialmente escorregáveis.

O grau de declividade do terreno é um fator que sempre deve estar presente em estudos de movimentos de massa em encostas. Com base no mapa de declividade foram selecionadas, dentro das diferentes categorias, aquelas áreas que apresentavam um relevo mais íngreme.

Os critérios utilizados tanto para a seleção dos tipos de declividades quanto para as áreas potenciais à instabilidade, não foram avaliados por estudos de ocorrências de eventos anteriores, já que esses dados não puderam ser obtidos. Procurou-se selecionar, na literatura, regiões com características semelhantes à área de estudo para melhor embasa-lo. As áreas que foram consideradas de maior interesse para estudos de estabilidade (às quais foram atribuídos um peso maior), são aquelas em que a declividade é maior que 20 graus, sendo este apenas um fator inicial a se levar em conta. No caso das declividades, por sua grande importância para este tipo de estudo, foram dados pesos (valores de ponderação para as operações aritméticas) muito mais altos, para não se obter resultados incoerentes. Se fossem dados pesos semelhantes aos outros fatores, poderia acontecer que áreas com baixas declividades, que tivessem todos os outros fatores com alta potencialidade, resultarem em locais de risco, o que seria incoerente. Por exemplo, uma área que apresenta solos muito profundos e muito saturados, com uma classe de ocupação urbana muito densa, e com declividade zero grau, poderia resultar em área de alta susceptibilidade a escorregamento, fato que não é muito provável. Foram analisados outros fatores que intervêm neste tipo de processo.

A ocupação do terreno foi considerada tendo em conta as classes de ocupação urbana obtidas da imagem TM-LANDSAT de 1996, dando diferentes pesos a cada uma delas; quanto maior a ocupação, maior o risco de perdas de vidas e materiais. Assim, maior peso foi atribuído. Outros fatores considerados foram a profundidade e saturação dos solos. Quanto maior a profundidade e a saturação, maior a suscetibilidade.

Outro fator que foi muito discutido no capítulo de Introdução (fatores e mecanismos condicionantes), e que não foi possível incluir dentro da análise matemática, foi a vegetação, devido também ao grau de generalização que apresentam os dados. Outros parâmetros, como o passagem de furacões pela área de trabalho, e as precipitações a eles associadas, também não puderam ser incluídos nesta análise.

É necessário salientar que devido à ausência de dados, na imagem de 1996, na parte litorânea do município de *Habana del Este*, foi feito um procedimento na imagem mais recente, que consistiu na colagem dos dados da imagem de 1987, na área que estava sem dados, procedimento realizado no comando CONCAT do programa IDRISI. A confecção do mapa de Ameaças Potenciais de Escorregamento do município de *Habana del Este* (Fig.15) foi obtido a partir dos mapas de classes de declividades (em

graus), classes de urbanização (MURB, URB e PURB), graus de saturação e profundidade dos solos, que deve ser entendido como fruto de uma abordagem simples e qualitativa, a partir apenas dos parâmetros considerados como mais importantes.

O primeiro procedimento adotado para o cruzamento foi a ponderação em pesos relativos de cada fator analisado, ou seja, as classes de declividade tiveram maior importância, onde foi concedido peso 10 as declividades acima de 20 graus, peso 5 para as declividades entre 10 e 20 graus, e peso 1 para as declividades menores que 10 graus. Em relação as classes de urbanização foi dado peso 5 às áreas muito urbanizadas, peso 3 às áreas urbanizadas, e peso 1 às áreas pouco urbanizadas. Por fim, as classes de solo medianamente saturados e profundos tiveram peso 1 assim como as classes de solo saturados e muito profundos obtiveram peso 2. A seguir é apresentado a tabela que contém cada um dos fatores e seus pesos atribuídos.

Declividade	peso	intensidade de urbanização	peso
0 - 10°	1	pouco urbanizado (PURB)	1
10 - 20°	5	urbanizado (URB)	3
> 20°	10	densamente urbanizado (MURB)	5
profundidade de solos	peso	saturação de solos	peso
profundos	1	medianamente saturados	1
muito profundos	2	saturados	2

Tabela 2. Pesos atribuídos a cada fator considerado na análise de ameaças de escorregamentos

Após esta ponderação foram realizadas operações aritméticas de soma (módulo overlay do SIG-IDRISI), onde cada imagem foi somada 1 a 1, ou seja, primeiramente somou-se o grau de saturação do solo (solos saturados e solos medianamente saturados) com a profundidade do solo (solos profundos e solos muito profundos). Com este produto foi realizado novamente uma operação de soma com as classes de urbanização (MURB, URB e PURB) e finalmente foi somada com esta imagem resultante as classes de declividade (0-10, 10-20, >20), gerando o mapa preliminar de áreas suscetíveis à ocorrência de escorregamentos.

Este produto preliminar foi reclassificado (através do módulo RECLASS do IDRISI) em 4 classes de suscetibilidade da seguinte forma:

<u>Valor</u>	<u>Suscetibilidade</u>
1-5	Sem suscetibilidade
6-7	Suscetibilidade baixa
8-10	Suscetibilidade moderada
11-19	Suscetibilidade média

Na figura 15a estão apresentados cada uma das imagens utilizadas como dados de entrada para a localização de áreas suscetíveis a escorregamentos de encostas.

4.2 Dinâmica urbana

4.2.1 Introdução

A utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto para estudos da dinâmica urbana é uma ferramenta muito utilizada na atualidade. A possibilidade de atualização, a quantidade de informações fornecidas, sua rapidez e baixo custo são algumas das principais vantagens. O monitoramento da expansão urbana da província *Ciudad de La Habana*, através de imagens orbitais e aeroportadas, é uma técnica inovadora em Cuba e, em uma série tão longa (40 anos), na maior parte dos países.

No início da pesquisa pensou-se na utilização de imagens TM-LANDSAT, considerando fundamentalmente a pobreza espectral das imagens SPOT Pancromáticas. Apesar das gestões feitas isso não foi possível inicialmente.

Foi obtida inicialmente a imagem XS-Spot de 1987, a mais antiga disponível, que reúne os requisitos espectrais para a abordagem proposta na pesquisa, além de sua boa resolução espacial. Não foi possível obter imagem SPOT multiespectral recente (não existe), razão pela qual foi obtida uma imagem TM-LANDSAT de agosto de 1996 (a mais recente existente à época da aquisição), através de fornecedor não governamental.

O estudo da expansão urbana na província *Ciudad de La Habana* foi feito através de dados multitemporais-multiproduto, adquiridos das FOTOGRAFIAS AÉREAS PANCROMÁTICAS de 1956, da imagem XS-SPOT de 1987 e da imagem TM-LANDSAT de 1996. As datas de 1956 e 1996 representam dois períodos

profundamente diferentes no desenvolvimento econômico-social do país, e, ao mesmo tempo, mostram profundas mudanças no espaço urbano.

Até 1959 havia uma grande desproporção entre a capital e o resto do país. Com o novo regime, passou a ter o cidadão plena liberdade, implicando em trabalho garantido, estudo e saúde e o livre acesso a praias, centros sociais e culturais, entre outras atividades, favorecendo o incremento da migração à capital. Paralelamente foram concentrados os maiores esforços no desenvolvimento econômico e social das outras províncias, o que foi um fator importante na redução dos movimentos migratórios. Mesmo assim o processo de metropolização foi acelerado.

Embora desde 1963 existissem planos de controle para a Cidade da Havana, somente em 1984 foi elaborado o plano diretor da Cidade para o período de 1980-2000, o qual dirige e regula o desenvolvimento da cidade desde o ponto de vista espacial e físico. A análise das imagens SPOT e LANDSAT facilita a avaliação de algumas das diretrizes desse plano diretor.

A análise principal da área de estudo foi feita na região metropolitana, entendida nesta pesquisa como o contínuo urbano, onde estão localizadas as maiores aglomerações populacionais e construtivas. Também foi objeto de estudo o resto do território da atual província *Ciudad de la Habana*.

Foram gerados três mapas, um para cada uma das datas analisadas, onde estão representadas as classes de ocupação mapeadas: áreas muito urbanizadas (MURB), áreas urbanizadas (URB), áreas pouco urbanizadas PURB), áreas rurais (RURAL), corpos de água (ÁGUA), vegetação densa (VEG DENSA) e solo exposto (SOLO EXPO).

Os resultados cartográficos gerados foram elaborados, fundamentalmente, a partir da interpretação visual das diferentes plantas obtidas (fotointerpretação das fotografias aéreas de 1956 e composições coloridas das imagens XS-SPOT de 1987 e TM-LANDSAT de 1996), com o apoio da classificação pelo método de Máxima Verossimilhança (MaxVer) e os índices de vegetação.

Como parte do processo de integração dos dados em ambiente SIG, foram digitalizados os produtos da interpretação visual das fotografias aéreas e das

composições coloridas das imagens SPOT e LANDSAT e gerados os mapas de ocupação nas três datas. Esses mapas vetoriais foram convertidos em imagens raster de acordo com os procedimentos já descritos em itens anteriores. A comparação das plantas obtidas para cada ano permitiu a visualização do processo de expansão da mancha urbana, assim como sua quantificação.

Para a obtenção dos mapas da dinâmica nas diferentes datas foram utilizadas, em ambiente SIG, operações de subtração de uma imagem (a mais recente) da outra (a mais antiga), conferindo um peso maior a cada classe na imagem recente, para não obter valores nulos, da forma que é apresentado no item 5.2.4.

Infelizmente, as duas imagens citadas não abarcam pequenas porções da área de estudo. No caso da imagem SPOT, falta uma pequena área na porção Leste (município *Playa*) e na imagem LANDSAT falta uma faixa do litoral Norte do município *Habana del Este*, desde os povoados de Cojimar até Guanabo, este último fato impossibilitou a inclusão do fator antrópico, com dados mais recentes, na análise de ameaças de escorregamento nesta área do município.

4.2.2 Fotografias aéreas do ano 1956

Para avaliação da expansão urbana, os dados mais antigos disponíveis foram as fotografias aéreas pancromáticas, branco e preto, obtidas pelos vôos realizados pela companhia norte-americana *Aero Service Corporation* (ASC) em fevereiro de 1956, na escala 1: 62 000. A seguir é apresentada uma tabela com a distribuição das 29 fotografias aéreas que correspondem à área de *Ciudad de La Habana*.

			3538	3998
	4404	3573	3539	3997
4000	4403	3572	3540	3996
4001	4402	3571	3541	3995
4002	4401	3570	3542	
4003	4400	3569	3543	
4004	4339	3568	3544	

Tabela 3. Distribuição das fotografias aéreas correspondentes à área de *Ciudad de La Habana*

Depois de localizar o ponto central da foto (ponto transferido) e determinar a parte menos deformada (parte central), iniciou-se a interpretação dos estereopares de cada uma das linhas de vôo que abrangem a área de estudo, utilizando para isso um estereoscópio de espelho SOKKISHA, de fabricação japonesa. Finalmente foram montadas cada uma das faixas interpretadas e confeccionou-se o mosaico de toda a área, o qual foi digitalizado e convertido em imagem raster através dos procedimentos descritos anteriormente, resultando no mapa de ocupação do ano 1956 (Fig.16).

O parâmetro distintivo principal, utilizado para a discriminação das diferentes classes de ocupação, foi o fototono ou tonalidade fotográfica, proporcionando maior ou menor contraste com os detalhes adjacentes, e, em menor medida a textura e estrutura dos elementos do terreno, considerando-se, continuamente, o conhecimento do terreno, em processo cognitivo.

Através da interpretação das fotografias aéreas foram determinadas sete classes de ocupação: área muito urbanizada (MURB), urbanizada (URB), pouco urbanizada (PURB), corpos de água (AGUA), vegetação densa (VEG DENSA) e solo exposto (SOLO EXPO). As áreas restantes foram consideradas como de ocupação rural (RURAL). Também foram determinados outros elementos da paisagem, importantes para o georreferenciamento dos mapas, tais como rodovias, ferrovias, aeroporto, etc.

No processo de identificação e delimitação de objetos e áreas de interesse, algumas dificuldades foram afrontadas. Não foi possível definir a linha de costa com precisão, pela pouca definição apresentada, talvez pelas similares respostas espectrais que tem as ondas e areias nesta faixa litorânea. Ambos os elementos aparecem com tons de cinza muito claros. Quando comparada com os resultados das imagens de satélite, observa-se uma diferença que pode estar acrescentada também pela mudança da maré de acordo com a hora de aquisição de cada um dos produtos aerocósmicos. Mostrou-se difícil também delimitar o contorno das barragens, que geralmente estão localizadas em zonas baixas, com abundante vegetação. Tanto a água como a vegetação têm respostas similares em produtos pancromáticos. No litoral Norte, a partir da linha de costa e em direção ao interior, com uma largura de 5-20m aproximadamente, pode-se observar uma faixa bem contrastante em tons de cinza muito elevados que parece corresponder ao primeiro terraço. Essa faixa parece ser a

zona onde se desenvolvem as dunas e as areias de praia, tornando muito difícil a determinação de detalhes dentro dela. Fica descartada qualquer modificação antrópica na época. Este trabalho foi auxiliado com mapas topográficos em escala 1: 50.000.

4.2.3 Imagens Multiespectrais. Processamento Digital

Visando a geração de plantas de uso e ocupação da terra, como parte da dinâmica ocorrida na área metropolitana, foram utilizadas imagens SPOT-1 XS de 27 de julho de 1987 e TM-LANDSAT-5 de 5 de agosto de 1996.

O sensor do satélite SPOT (Systeme Pour l'Observation de la Terre) consiste de um sistema imageador (*high resolution visible-HRV*) e uma fita magnética auxiliar de registro (Lillesand e Kiefer, 1994). Está designado para operar no modo Pancromático e Multiespectral, com resoluções espectrais e espaciais que se seguem:

Modo Pancromático

0,50 a 0,73 mm (preto e branco)

Modo Multiespectral

XS-1-----0,50 a 0,59 mm (verde)

XS-2-----0,61 a 0,68 mm (vermelho)

XS-3-----0,79 a 0,89 mm (infra-vermelho próximo)

A resolução espacial para o modo Pancromático é de 10m e de 20m para o modo multiespectral.

O sensor TM (*thematic mapper*) é um imageador multiespectral composto por sete bandas, que se encontra instalado no satélite LANDSAT-5. A resolução espectral das bandas, segundo Drury (1993) é a seguinte:

banda TM-1-----0,45 a 0,52 mm (azul)

banda TM-2-----0,52 a 0,60 mm (verde)

banda TM-3-----0,63 a 0,69 mm (vermelho)

banda TM-4-----0,76 a 0,90 mm (infra-vermelho próximo)

banda TM-5-----1,55 a 1,75 mm (infra-vermelho onda curta)

banda TM-7-----2,08 a 2,35 mm (infra-vermelho onda curta)

banda TM-6-----10,4 a 12,5 mm (infra-vermelho termal)

A resolução espacial nas bandas referentes ao espectro refletido é de 30m e de 120m para a banda termal (banda 6).

Processamento Digital de Imagens

O termo processamento digital de imagens refere-se às técnicas de tratamento-manipulação de imagens, em ambiente computacional, para realce das informações espectrais/espaciais presentes na imagem original, sem prejuízo de sua disposição espacial relativa. Ou, ainda, "o processamento digital de imagens de sensoriamento remoto trata especificamente das técnicas utilizadas para identificar, extrair, condensar e realçar a informação de interesse para determinados fins, a partir de uma enorme quantidade de dados que usualmente compõem essas imagens" (Crosta, 1992).

Os procedimentos feitos nas imagens obtidas para a área de estudo são comentadas a seguir.

O processamento digital das imagens XS-SPOT e TM-LANDSAT foi feito no Laboratório de Informática Geológica (LIG) do Instituto de Geociências da USP. O sistema utilizado foi o SITIM-340 (Sistema Interativo de Tratamento de Imagens), desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) sob ambiente DOS. Esse sistema está destinado ao processamento de imagens multiespectrais geradas por satélites, e conta com diversos módulos de manipulação, realce e classificação de imagens.

O *hardware* utilizado esteve composto por um microcomputador 486 DX2, monitor SVGA e unidade de visualização de imagens com resolução de 1024x768 pontos, true color (256 níveis de cinza por canal). Essa unidade compreende um monitor SVGA de 20 polegadas e uma placa gráfica especializada, que permite a carga simultânea de três bandas espectrais associadas às cores vermelho, verde e azul (*RGB*). A entrada das imagens (no caso da imagem TM) foi efetuada através de uma unidade de leitura de cartuchos magnéticos (streamer) de 60 Mb. Para a saída dos

resultados foi utilizada a impressora de transferência térmica TEKTRONIX 4693 DX, de 300 DPI de resolução.

Os produtos de sensoriamento remoto requeridos para um estudo de detalhe em áreas urbanas, segundo Welch (1982), deverão ter resolução espacial de poucos metros, variando de acordo com o tipo de contraste dos materiais utilizados nas construções. Já para imagens orbitais de baixa e média resolução espacial, há essencialmente duas vertentes: a que trabalha pixel a pixel e a que trabalha por áreas, onde a atividade cognitiva e o trabalho de campo desempenham um papel mais importante (Weber et al. 1991).

Carrara et al.(1992) utilizaram NDVIs para obter estimativas na comparação de áreas construídas com áreas verdes, permitindo uma visão global da distribuição espacial e da densidade da cobertura vegetal.

Nesta pesquisa considerou-se a obtenção de índices de vegetação, como uma forma expedita de se obter dados numa abordagem pixel a pixel, já que as indicações de diferentes quantidades de biomassas em princípio se associam às maiores ou menores taxas de cobertura vegetal e inversamente, à densidade de ocupação antrópica. Assim, Dns mais baixos refletirão ausência de vegetação. Estes resultados foram avaliados cognitivamente, de modo a separar feições de igual reposta espectral porém com diferentes significados em termos de uso do solo.

Correção Atmosférica

Ao longo da trajetória da radiação solar, do sol para a terra e em seu retorno em direção ao satélite, ocorre uma interação da radiação eletromagnética com moléculas e partículas em suspensão na atmosfera, gerando os processos de espalhamento e absorção de parte da energia, provocando uma diminuição da qualidade da imagem.

Com a finalidade de diminuir os efeitos produzidos pela interação das radiações eletromagnéticas (REM) com a atmosfera, foi feita a correção atmosférica pelo método da subtração do pixel escuro (Chavez, 1975) antecedendo as operações de divisão de bandas. Nesse procedimento assume-se que o nível de cinza (NC) que corresponde água ou áreas fortemente sombreadas (teoricamente absorção total ou ausência da radiação do visível e infra-vermelho não termal), equivale a zero. No caso de presença

de algum tipo de sinal, este será devido apenas à atmosfera. Nessa correção tomou-se como amostragem a cena inteira (nas duas imagens), visando obter os Dns mínimos reais.

Este procedimento mostrou-se necessário para todas as bandas utilizadas (TM1 a 4 e SPOT XS1 a 3). Embora eventualmente não seja necessário utilizar esse procedimento para a banda TM4, observou-se que, nesta região, tal procedimento é necessário, possivelmente devido à alta umidade do ar, que pode interagir com a radiação na faixa do infravermelho próximo, bloqueando-a parcialmente.

Realce de contraste

De modo geral as bandas originais têm seus *pixels* distribuídos entre um número limitado de níveis de cinza dentro do intervalo 0-256 (no caso de resolução radiométrica de 8 bits, como nas imagens utilizadas), apresentando baixo contraste. Para poder obter maiores informações contidas nessas imagens, é preciso expandir seu histograma comprimido.

Para uma maior visualização das informações contidas nas imagens foi aplicada a técnica da aumento de contraste (*contrast stretch*). Na manipulação dos histogramas foram utilizadas, como regra geral, curvas de transferência multi-lineares, definindo cuidadosamente os intervalos a serem realçados. Através da inclinação da função de transferência procurou-se realçar ao máximo o contraste nas faixas de maior quantidade de informação do histograma, mantendo no possível os extremos inalterados, evitando-se assim maiores "over flows" e consequentemente perda de informação. Desse modo, as regiões que continham menos de 1000 pontos foram pouco ou nada realçadas (extremos de DN), a fim de permitir um realce máximo para os DNs mais freqüentes.

Filtragens

A técnica de filtragem espacial de freqüências consiste em realçar as feições de alta, média ou baixa freqüências para obter uma melhor visualização da distribuição espacial das informações e poder fazer uma boa interpretação de feições com freqüências específicas.

Para um maior realce das feições de alta frequência, utilizou-se filtragem espacial com filtros de convolução do tipo passa-altas (ou de realce de bordas), selecionados para toda a área depois de testes em cada sub-cena.

Foram criados diversos filtros, adicionando diferentes números de originais, de modo a realçar ao máximo as feições presentes na área, preservando, tanto quanto possível, a informação espectral original. Para a imagem SPOT resultou o seguinte filtro:

0	-1	0
-1	6	-1
0	-1	0

No caso da imagem TM, para a montagem do operador ou *kernel*, foi utilizada a técnica proposta por Branco & Ribeiro de Almeida (em preparação), resultando no seguinte filtro:

-5	-8	-10	-8	-5
-8	-10	-40	-10	-8
-10	-40	700	-40	-10
-8	-10	-40	-10	-8
-5	-8	-10	-8	-5

O mesmo filtro foi aplicado para as quatro bandas, em todas as sub-cenas estudadas.

4.2.3.1 Índices de vegetação

É conhecido o importante papel que desempenha a vegetação para áreas urbanas. Monteiro (1976, *apud* Foresti, 1988), destaca a importância das áreas verdes do ponto de vista estético, como áreas de lazer e como válvulas reguladoras do escoamento pluvial em grandes concentrações urbanas. Vários autores (Delavigne, *et al* 1984, Lenco, *et al*, 1982, Foresti, 1988, *apud* Foresti, 1988), têm sugerido a utilização do Índice de Vegetação para a avaliação indireta da densidade de vegetação em relação a áreas construídas.

Para realçar a distribuição espacial e a densidade relativa da vegetação, foram utilizados o Índice de Vegetação *Standart* (IVS) e o Índice Normalizado de Diferença de Vegetação (INDV). O primeiro é dado pela simples divisão de bandas no IV próximo pela banda no vermelho e o segundo pela clássica forma $(IV \text{ próximo} - \text{vermelho}) / (IV \text{ próximo} + \text{vermelho})$.

De modo a realçar o contraste nas imagens geradas, foi utilizado um ganho elevado, obtendo-se uma quantidade maior de tonalidades, resultando num histograma mais rico e bem distribuído.

A partir das bandas originais da imagem XS-SPOT de 1987 (apenas com correção atmosférica) foi calculado o Índice de Vegetação Simples (IVS), com a divisão da banda 3 pela 2 (Fig. 17) e o Normalizado (INDV), segundo a expressão $(3-2)/(3+2)$ (Fig. 18). Obteve-se duas imagens em tons de cinza onde foram observadas, claramente, várias classes de biomassa. Após esta etapa, definiu-se, pela facilidade de comparação posterior com a imagem de 1996, fatiar a imagem resultante em três intervalos de Dns definidos a partir de leituras de pixels, no SITIM, de locais reconhecidos em campo como densamente, medianamente e parcamente vegetados.

Depois da leitura de pixels (intensidade de resposta) em áreas conhecidas, e levando em consideração os Dns para cada um dos locais, foram selecionados os seguintes intervalos de DNs:

(1-14) **BAIXO** índice de vegetação (BAIXO IV). -correspondem a leituras feitas em áreas com alto grau de urbanização;

(15-79) **MÉDIO** índice de vegetação (MÉDIO IV). -correspondem a leituras feitas em áreas pouco urbanizadas, rurais ou agrícolas;

(80-255) **ALTO** índice de vegetação (ALTO IV). -correspondem a leituras feitas em áreas de vegetação abundante ou mata preservada.

Feito o fatiamento da imagem, esta foi registrada com as plantas topográficas e recortada utilizando-se o software IDRISI. Posteriormente foi utilizada a operação *CROSSTAB*, na qual realiza-se uma tabulação cruzada, onde as categorias de uma imagem são comparadas com categorias de uma segunda imagem. Esta comparação resulta numa tabela que contém o número de células em cada combinação. Através desta operação a imagem classificada (Fig. 19) foi comparada (cruzada) com a imagem que contém os municípios de *Ciudad de La Habana* (Fig.1), obtendo-se o valor numérico (em Pixels) das áreas cobertas para cada classe de índice de vegetação. Esse valor foi posteriormente convertido em hectares e os resultados numéricos desse cruzamento são expressos na tabela.4.

Para os Índices de Vegetação Simples (Fig 20) e Índices de Vegetação Normalizado (Fig 21) da imagem TM-LANDSAT de 1996, foram também utilizadas as fórmulas $TM4/TM3$ e $TM4-TM3/TM4+TM3$ respectivamente. Nesta imagem foi efetuado o mesmo procedimento utilizado na imagem anterior, de forma a serem comparados os resultados nas duas datas e determinar, semi-quantitativamente, o grau de perda de vegetação (desmatamento) ocorrido neste período.

Para a imagem de 1996, depois da leitura de pixels, selecionaram-se os seguintes intervalos:

(1-20) **BAIXO** índice de vegetação (BAIXO IV).- áreas com alto grau de urbanização;

(21-110) **MÉDIO** índice de vegetação (MÉDIO IV).- áreas pouco urbanizadas e/ou rurais;

(111-255) **ALTO** índice de vegetação (ALTO IV).- áreas de mata preservada e/ou abundante vegetação.

Os resultados do fatiamento dos índices de vegetação simples da imagem LANDSAT estão apresentados na Figura 22.

A escolha de apenas 3 classes de densidade de vegetação deu-se após testes com mais classes, que geraram resultados insatisfatórios, introduzindo pouco acréscimo de informação e gerando quadros menos claros numa análise cognitiva.

4.2.3.2 Classificações pelo método da Máxima Verossimilhança (MaxVer)

Um dos principais objetivos do sensoriamento remoto é o de “distinguir entre e identificar as composições de diferentes materiais superficiais”, sejam eles tipos de vegetação, padrões de uso de solo, rochas e outros (Crosta, 1992). Essa identificação é possível pelo comportamento diferenciado dos materiais superficiais ao longo do espectro eletromagnético.

Existem três formas básicas de extrair informações cartográficas a partir de imagens digitais:

- classificação visual, onde o operador determina visualmente cada classe na imagem, traçando manualmente os limites em toda a extensão da imagem;
- classificação não supervisionada (ou automática), onde o operador fornece ao sistema apenas os dados mínimos (nº de classes) para que este proceda à classificação sem que se possa interferir no processo;
- classificação supervisionada, onde o operador interage com o sistema durante a classificação, fornecendo informações acerca do tipo de informação a ser incluída em cada classe, bem como avaliando o procedimento antes que este esteja concluído. Segundo Lillesand e Kiefer (1994), o objetivo fundamental dos procedimentos de classificação de imagens é categorizar automaticamente todos os pixel de uma imagem dentro de temas ou classes de cobertura de terrenos.

A classificação automática de imagens multiespectrais de sensoriamento remoto refere-se à associação, através dos valores numéricos (DNs), de cada pixel da imagem a um tipo de cobertura da superfície terrestre, chamados então de “temas”.

Segundo Crosta (1992, op. cit.), existem algumas regras a ter em conta no processo da classificação multiespectral. Primeiro, assume-se que as classes foram determinadas antes de se iniciar a classificação. Segundo, que qualquer pixel na

imagem pertence à uma dessas classes, e terceiro, que as classes podem ser definidas usando algumas propriedades observáveis da cena e não apenas valores de reflectância.

Entre as técnicas para classificação supervisionada, uma das mais comumente utilizadas é a de "máxima verossimilhança" (MaxVer), utilizada neste trabalho a fim de avaliar os diferentes temas que ocorrem na área (área muito urbanizada, área urbanizada, área pouco urbanizada, área rural, área com vegetação densa, corpos de água, e área com solo exposto), para as duas imagens; 1987 (Fig.23) e 1996 (Fig. 24), para a região da província *Ciudad de La Habana*.

De acordo com Crósta (1992, op.cit.), o método da máxima verossimilhança (em inglês, "*maximum likelihood*") consiste na ponderação das distâncias das médias utilizando parâmetros estatísticos. Devido à complexidade desta base estatística, é necessário um número elevado de pixels (normalmente acima de uma centena) para cada conjunto de treinamento, a fim de obter-se uma classificação precisa o suficiente.

Para esta pesquisa, na escolha das amostras (Figs. 25 e 26) procurou-se definir áreas de treinamento bastante representativas da realidade do terreno, baseado principalmente no conhecimento da área de estudo. No entanto, na definição dos locais mais apropriados para cada classe, surgiram algumas dificuldades entre classes contíguas, principalmente entre a classe urbanizada (URB) e pouco urbanizada (PURB), uma vez que o limite de decisão entre essas duas classe não está bem definido, existindo numerosos pixels que podem ser associados tanto à classe URB quanto à classe PURB. É conhecido que mesmo o método MaxVer é passível de imprecisões, pelas próprias regras de decisão do método, podendo atribuir alguns pixels pertencentes a uma classe, à uma classe diferente.

Devido à nebulosidade presente na imagem SPOT, foi necessário acrescentar duas classes (nuvens e sombra). As nuvens confundiam-se com áreas muito urbanizadas e/ou solo exposto, enquanto a sombra apresenta respostas muito semelhantes com corpos de água.

Obtidos os mapas de ocupação do terreno a partir da classificação automática, pelo método de MaxVer, das imagens XS-SPOT e TM-LANDSAT, esses arquivos foram salvos em formato TIFF (*Tagged-Image File Format*) dentro do próprio SITIM e

transferidos para o SIG-IDRISI for Windows. A importação foi feita pelo módulo TIFIDRISI. Já dentro do ambiente de trabalho do SIG, algumas transformações tiveram que ser realizadas: com ajuda do módulo Windows as imagens classificadas foram recortadas (as dimensões das imagens originais eram muito maiores que a área de interesse) para poder executar, através do módulo *RESAMPLE*, a geocodificação (por restituição), uma vez que as imagens classificadas tinham coordenadas diferentes, o que impossibilitaria a análise georeferenciada na estrutura de *overlays* através de lógica booleana. A operação *RESAMPLE* exige que sejam fornecidos um determinado número de pontos de controle (no caso de ajuste linear requer 3 pontos), com as coordenadas da imagem inicial (em nosso caso a imagem que contem o limite da área de estudo-mapa de contorno-) e seus correspondentes na imagem resultante (imagem classificada), dados que são fornecidos através de um arquivo de correspondência. Para a imagem de 1987 foram selecionados 15 pontos de controle dos quais omitiram-se 3 pontos por apresentar um erro muito grande. O erro (RMS) total foi de 4.2. No caso da imagem de 1996 selecionaram-se 14 pontos e dois deles foram omitidos. O erro total foi de 4.5, muito bom, uma vez que o programa IDRISI considera aceitavel erros, para imagens raster, de a metade da resolução da imagem de entrada, que no caso das imagens utilizadas foram de 20 e 25 metros, respectivamente.

Utilizou-se como verdade geométrica as folhas topográficas na escala 1: 25 000 da província *Ciudad de La Habana*.

Em seguida, procedeu-se à delimitação exata da área de trabalho, para o que se utilizaram as imagens de contorno (com resoluções correspondentes a cada imagem de SR classificadas) a que se atribuiu-se valores de 1 e 0 (dentro e fora da área de estudo) e foram multiplicadas por suas respectivas imagens, obtendo-se finalmente os mapas de classes de ocupação do terreno, pelo método MaxVer, em cada uma das datas analisadas (Figs. 23 e 24).

4.2.3.3 Composições coloridas

A composição colorida é a mais tradicional forma de se combinar 3 bandas espectrais de satélite (Crosta, 1992 op.cit.). Em estudos de uso e ocupação do solo, são reconhecidas como mais adequadas as composições com duas bandas no visível e uma no infra-vermelho próximo. Assim, para imagens LANDSAT, as combinações das bandas 7/5/4 (para MSS) e 4/3/2 em RGB (para as TM), embora, a dizer do próprio autor, nunca se deva aceitar receitas de composições coloridas de determinadas bandas em determinadas cores, pois depende das características próprias da cena e do tipo de informação desejada. Além da composição colorida falsa-cor, foi feita a composição TM3/2/1 (RGB), em "cores naturais", que também se mostrou adequada, auxiliando muitas vezes a interpretação da composição TM4/3/2 (RGB). As composições coloridas são de grande eficácia na visualização de feições e detalhes em uma imagem, pela maior capacidade do olho humano em distinguir cores (10^6) que níveis de cinza (≈ 30).

Na imagem SPOT-XS de 1987, pela existência de apenas três bandas, não permite senão a alternância do RGB. A composição infra-vermelho falsa cor tradicional (SPOT3 R/SPOT2 G/SPOT1 B), após realces multilíneares de contraste e aplicação dos filtros passa-altas atrás mencionados, foi a que apresentou melhor visualização, permitindo fácil identificação das sub-áreas (classes) muito urbanizada, urbanizada e de biomassa mais elevada, bem como dos principais corpos d'água e vias de acesso. A fim de obter a maior quantidade possível de informações, evitando a geração de pixels mistos, trabalhou-se com a escala ideal de tela, de modo que 1 pixel da imagem correspondesse a 1 ponto na tela. Desse modo, a escala ideal de observação no monitor resultou ser de 1:56. 888. Já para as impressões (Figs 27a até 27f), considerando o objetivo de comparar as imagens orbitais com as fotografias aéreas, foram produzidas em escala 1: 62. 000. A partir dessas cenas foi feita uma interpretação visual que gerou, conjuntamente com a classificação MaxVer e índice de vegetação, a base para a obtenção do mapa de ocupação de 1987 (Fig.28). Impressões na escala de 1: 25.000 foram testadas para a parte que corresponde com o município de Havana do Leste, resultando em imagens de parca definição e difícil interpretação.

Para a obtenção das composições coloridas da imagem LANDSAT-TM de 1996, foram utilizados os processos descritos anteriormente (realce de contraste e filtragem). As combinações TM3/TM2/TM1 (Figs 29a e 29b) e TM4/TM3/TM2 (Figs 30a até 30j) foram consideradas as mais representativas das diferentes formas de ocupação do terreno na área de estudo.

A composição 3/2/1 é importante por ser uma composição aproximadamente em cor real, ou seja, a paisagem aparece na imagem com as mesmas cores que são vistas na realidade. Já a composição 4/3/2 é importante uma vez que a banda 4, por situar-se na faixa do infravermelho próximo, pela grande reflectância da vegetação, fornece uma quantidade muito maior de informação sobre ela do que qualquer banda no visível.

Os resultados das composições coloridas mostraram-se apropriadas para o estudo realizado. A composição TM/4/3/2 forneceu maior informação (para a imagem LANDSAT) na estruturação da parte urbana. A partir dessas cenas foi feita uma interpretação visual que, conjuntamente com os resultados da classificação MaxVer e dos índices de vegetação, permitiu a elaboração do mapa de ocupação do terreno em 1996 (Fig.31).

5. RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

5.1 Ameaças de escorregamentos no município *Habana del Este*

5.1.1 Modelo Digital de Terreno

A Fig. 9 apresenta os resultados do modelo digital de terreno (classificado) do município de *Habana del Este*, obtido pelo método de interpolação da curvatura mínima, do programa SURFER, sendo o que melhores resultados apresentou para a área de estudo. A classificação em 14 classes diu-se após vários testes com mais e menos intervalos, sendo esta última a mais representativa das feições do relevo da área.

O relevo da área de estudo está caracterizado por dois “tipos de relevo”: as planícies (*llanuras*) e os planaltos (*alturas*). As áreas que apresentam relevo de planície estão bem delimitadas por cores azuis claros no modelo, desenvolvidas principalmente nos vales dos rios *Cojimar*, *Bacuranao*, *Tarará* e *Jíbaro*, os quais atravessam a área de estudo de sul a norte. Nas partes mais próximas ao rio (planície de inundação do rio), onde a altitude é muito baixa, foram dadas cores bem claras e podem ser observados nos cursos dos rios, principalmente perto da desembocadura, onde a planície está mais desenvolvida, assim como ao longo do todo o litoral norte do município.

As regiões mais altas aparecem em cores avermelhados, e estão bem delimitadas neste modelo, tanto para os “Planaltos” que formam a cadeia de elevações de direção Leste-Oeste, quanto para outras elevações isoladas que estão distribuídas pela região Leste e Sul da área de estudo.

A utilização de vários interpoladores para a obtenção do modelo digital do terreno da área de estudo, mostrou-se um procedimento apropriado, possibilitando a comparação de vários resultados e a seleção do resultado mais compatível com os dados, e assim foi possível obter uma aproximação mais real das regularidades e diferenciações que apresenta o relevo da área de estudo, fornecendo dados mais confiáveis para a obtenção do mapa de declividade.

5.1.2 Mapa de declividade

Para a obtenção do mapa de declividade foram testados cada um dos modelos obtidos dos diferentes interpoladores do programa SURFER, sendo o interpolador "curvaturas mínimas", o selecionado para gerar o mapa de declividade do município de *Habana del Este*, sendo um elemento de grande utilidade na localização de áreas suscetíveis a escorregamentos.

Nas figuras 13 e 14 estão apresentadas as declividades em graus e porcentagem, a partir do mesmo modelo do terreno. Embora na figura 14 existe uma melhor visualização das áreas com diferentes declividades, nota-se que ambos mapas ressaltam as mesmas áreas com declividades máxima (maiores de 25 graus e maiores de 47.16%), localizadas nos Planaltos paralelos à linha de costa assim como na região sudeste do município.

As áreas em branco que se observam na figura 13 correspondem a planícies de pouca altitude e muito planas que apresentam declividades de 0-1 graus.

O objetivo principal da obtenção do mapa de declividade foi o cruzamento das classes de declividades (0-10, 10-20 e >20 graus) com outros fatores considerados nesta pesquisa como possíveis causas de escorregamentos na área de estudo.

5.1.3 Mapa de ameaças potenciais de escorregamentos

Foi adotado como premissa básica que o principal fator responsável pela ocorrência de instabilidade de encostas é a existência de áreas com altas declividades e, devido a este fato foi atribuído ao mapa de declividade o maior peso.

Conferiu-se um peso intermediário ao mapa que apresenta as classes de urbanização, pois áreas que apresentem alta ocupação urbana com a possibilidade da ocorrência de um evento de escorregamento apresentam conseqüências em termos de perdas materiais e de vida. Isto está explícito na definição de risco.

O menor peso foi dado as características dos solos (saturação e profundidade). É evidente que este é um fator deflagrador para a ocorrência de escorregamentos, mas, devido à abrangência deste trabalho e a escala da apresentação, optou-se por dar um

menor peso a estes parâmetros quando comparado as classes de declividades e grau de urbanização.

Peloggia (1997) cita que existe uma relação indissociável entre os gêneros de fenômenos e feições resultantes possíveis de cartografiação e a escala na qual podem ser representados: os fenômenos que podem ser cartografados em escalas grandes são geneticamente aparentes daqueles representáveis em escalas pequenas.

Neste trabalho isto é observado principalmente no mapa de áreas suscetíveis à ocorrência de escorregamentos, devido a escala de trabalho (1: 100 000) é natural o excesso de generalização por não se adequar à análise de fenômenos localizados, como por exemplo a instabilidade de uma encosta que, segundo Lollo (1996), representa um elemento de terreno que se distingue dos vizinhos por apresentar condições específicas de forma e posição topográfica e de declividade do terreno. Na escala de apresentação deste mapa cartografou-se o sistema de terreno que ainda segundo aquele autor, compreende um conjunto de feições de terreno envolvidas sob as mesmas condições.

Com o exposto acima fica claro que não é possível tomar decisões específicas apenas com os dados apresentados no mapa. Este produto possibilitará predeterminar o desempenho da interação da ocupação do solo e do meio físico, sendo necessário investigações detalhadas para a concepção do solo, ou seja, o mapa de áreas suscetíveis de escorregamentos traça a primeira diretriz para aplicação de ações de planejamento.

Um aspecto que não foi considerado diretamente foram as litologias básicas das formações e complexos, as quais têm relação direta com os tipos de solos (suas profundidades e saturações) e declividade. A base geológica disponível (segundo requerimentos da escala 1:250.000) não forneceu elementos suficientes sobre o estado de deformação local, tais como densidade e natureza de fraturamento e mergulho das camadas, assim como detalhes sobre a composição litológica das diversas unidades estudadas. Um fato relevante é que embora os parâmetros geológicos sejam importantes na pedogênese, nesta pesquisa, eles não são indispensáveis, visto que os parâmetros já quantificados de profundidade e saturação, fundamentalmente, foram os fatores realmente considerados e utilizados na geração do mapa de ameaças potenciais

de escarregamentos (Figura 15) não constituindo, portanto, na concepção do autor, uma falta de informação básica devido principalmente à escala de trabalho e apresentação das figuras.

O município de *Habana del Este* foi dividido em 4 classes de suscetibilidade: sem suscetibilidade, suscetibilidade baixa, suscetibilidade moderada e suscetibilidade média.

A maior parte do território apresenta áreas estáveis, ou seja, sem suscetibilidade, devido ao fato de nessas áreas a declividade é inferior a 10 graus. Desse modo, conforme a metodologia adotada (declividade como principal fator de instabilidade) considerou-se estas áreas sem potencial à ocorrência de escorregamentos. Além de apresentar baixa declividade, em geral estas áreas não apresentam grau de urbanização (área rural) ou um baixo grau de urbanização (pouco urbanizada, e eventualmente urbanizada). Em muitas regiões que não apresentam suscetibilidade tem-se a ocorrência de solos saturados e solos profundos a muito profundos mas, em virtude de serem áreas rurais ou pouco urbanizadas e apresentarem declividades inferiores a 10 graus, foram cartografadas como áreas sem suscetibilidade.

Nas regiões que apresentam susceptibilidades baixas, em geral têm-se um grau de urbanização médio a elevado (URB a MURB) e por vezes apresentam solos saturados e muito profundos. Nestas áreas existem, geralmente, declividades abaixo de 10 graus, mais foi considerada como uma classe de baixa suscetibilidade em virtude do grau de urbanização, onde a ocorrência de algum tipo de instabilidade causará perdas maiores em relação as áreas pouco urbanizadas ou rurais. Eventualmente encontram-se áreas com declividades entre 10 e 20 graus com a ocorrência de solos profundos ou com pouca urbanização.

As áreas que foram cartografadas apresentando suscetibilidade moderada, em geral apresentam declividades entre 10 e 20 graus e exibem ora solos fortemente saturados, ora solos profundos e eventualmente pouca urbanização. Esta classe pode-se encontrar algumas vezes em áreas com declividades superiores a 20 graus, mas estas são áreas rurais com solos moderadamente profundos e saturados.

Por fim a classe delimitada como de suscetibilidade média apresentam declividades acima de 20 graus, em geral com solos profundos ou saturados,

localizadas em regiões com pouca urbanização ou áreas rurais. Estas áreas compreendidas dentro desta classe de suscetibilidade, é a que maiores ameaças potenciais de escorregamentos apresentam. Embora a escala de apresentação não possibilite uma fácil localização dentro do contexto de uso e ocupação do terreno, devem ser locais considerados como 'com maiores restrições para o seu uso e ocupação' se comparados com as outras classes anteriores, principalmente pela alta declividade e a presença de solos com características favoráveis à ocorrência de movimentos de massa. Em estudos posteriores, mais detalhados, essas áreas devem ser priorizadas.

O mapa de ameaças potenciais de escorregamentos (Fig.15), apesar de estar apresentado numa escala regional, fornece uma informação importante para o planejamento de quaisquer tipos de atividade de ocupação do terreno no futuro, embora para estudos mais detalhados, como por exemplo a predição de escorregamentos numa área pontual, seja necessário um estudo detalhado do comportamento dos fatores que podem desencadear a instabilidade.

5.2 Dinâmica urbana de *Ciudad de La Habana*

5.2.1 *Ciudad de La Habana* em 1956 (fotografias aéreas pancromáticas)

Como resultado da interpretação das fotografias aéreas na escala 1:62.000, foi gerado o mapa de ocupação do terreno em 1956 (Fig. 16), data inicial do período analisado para a dinâmica de expansão territorial na província *Ciudad de La Habana*.

Em 1956 a população de *La Habana* era de aproximadamente 1 milhão e quatrocentos mil habitantes, o que significava a quarta parte da população do país concentrada na capital (Mario González, 1993) e a cidade já estava estruturada como uma grande cidade. Como foi assinalado no item 3.1 os primeiros assentamentos populacionais começaram na parte oeste da baía e a partir daí começou um vetor de crescimento em direção à zona sul e posteriormente à zona oeste. Era esta a situação geral da cidade no período de aquisição das fotografias aéreas.

Observa-se na figura 16 que as áreas densamente ocupadas nesta data (classe MURB) estão localizadas principalmente nos atuais municípios de *Habana Vieja*, *Centro*

Habana e 10 de Octubre, com pequenos setores ocupados nos municípios do *Cerro* e *Plaza de la Revolución*. Essa classe de ocupação foi de fácil identificação nas fotografias aéreas, embora confundindo-se, em alguns casos, com áreas de solo exposto. Já para outras classes (URB e PURB) foi difícil determinar um padrão tonal-textural para cada uma delas. Áreas de solo exposto, de qualquer natureza, apresentam tons de cinza e textura semelhantes as classes MURB e URB.

A heterogeneidade de tipos de cobertura vegetal dentro da classe RURAL, dificultou a diferenciação da classe vegetação densa (VEG DENSA), motivo pelo que esta última classe não aparece representada com grandes áreas como deveria aparecer pelo baixo nível de antropização existente, nessa época, em regiões periféricas da cidade. Essa classe foi incluída na classe RURAL.

As áreas rurais abrangiam uma superfície total de 80% da área total da atual província, localizadas principalmente nos municípios periféricos, fora da mancha urbana central que concentrava a maior população na época.

Pelas dificuldades já explicadas no capítulo de metodologia, praticamente não aparecem corpos de água no mapa desta época.

A classe URB está principalmente localizada no litoral norte, zona oeste, nos atuais municípios *Plaza de la Revolución* e *Playa*. A urbanização dessa parte da cidade foi consolidada desde o ano 1924 (grupo para o desenvolvimento integral da capital, 1990), pelo que não sofreu mudanças substanciais dentro do tecido urbano em 32 anos. O município *Cerro* aparece na época com um grau de urbanização médio na sua porção Norte e baixo na Sul, corroborando a direção da expansão urbana na cidade. O território de *10 de Octubre* já apresentava uma ocupação urbana média (URB) e densa (MURB) em sua quase totalidade.

A porção Leste da cidade (o município de *Habana del Este*) não tinha experimentado um processo de ocupação importante, observando-se pequenos núcleos populacionais que correspondem a antigos assentamentos de povoadores que se dedicavam à pesca (*Cojimar*) e áreas residenciais que a burguesia ocupou com residências e clubes na praia (*Guanabo-Santa Maria*).

Utilizando o comando CROSSTAB foram calculadas as superfícies do terreno (em pixels) ocupadas por cada classe, as que posteriormente foram convertidas em km², para os quinze municípios da província, e estão apresentadas na tabela a seguir.

Município/classe	MURB	URB	PURB	RURAL	VEG DENSA	SOLO EXPO	CORPOS D'ÁGUA	OUTROS	TOTAL (km ²)
Playa	0	1.07	6.59	14.99	2.16	0.18	0	0.11	34.71
Lisa	0	0.79	4.50	30.59	0.62	0.51	0	0	37.00
Boyerros	0	0.61	8.25	114.25	6.37	0.51	0	0.08	130.07
Marianao	0	0.26	6.98	13.59	1.15	0.80	0	0	22.77
Plaza	0.19	10.47	0.05	1.03	0.31	0	0	0	12.05
Cerro	1.27	4.38	0.07	4.40	0.05	0.003	0	0	10.11
10 de Octubre	3.98	6.50	0.19	1.27	0	0	0	0	11.93
Arroyo Naranjo	0	7.00	4.63	73.26	0.21	0	0	0	85.10
Centro Habana	2.76	0.45	0.19	0	0	0	0	0	3.39
Habana Vieja	2.74	0	1.92	0	0	0	0	0	4.65
Regla	0	1.29	2.78	4.92	0	0.001	0	0.71	9.70
San Miguel	0	2.99	4.79	17.31	0	0	0	0	25.09
Cotorro	0	0	6.28	59.38	0	0	0	0	65.66
Guanabacoa	0	1.86	4.01	126.13	0.09	0	0.10	0	132.18
Habana del Este	0	3.26	6.82	121.30	4.10	0.49	0.07	3.41	139.44
TOTAL	10.94	50.54	57.96	582.41	15.06	2.50	0.17	4.31	723.87

Tabela 4. Áreas das classes de ocupação do terreno por município em 1956 (em km²), obtidas por interpretação de fotografias aéreas pancromáticas.

5.2.2 Ciudad de La Habana em 1987 (Imagem SPOT)

5.2.2.1 Análise dos índices de vegetação

As figuras 17 e 18 apresentam os resultados dos índices de vegetação simples (IVS) e normalizado (INDV), respectivamente, da imagem SPOT de 1987. Os tons de cinza claros correspondem a locais com abundante cobertura vegetal (valores de DNs elevados) e tons escuros a áreas com escassa vegetação.

De forma geral existem nas duas imagens uma associação (correspondência) entre os diferentes tipos de ocupação do terreno e os índices de vegetação. As classes de ocupação urbana mais densa (muito urbanizada e urbanizada, principalmente), refletem a pobreza da cobertura vegetal, enquanto áreas pouco urbanizadas aparecem com índices médios. Já para superfícies com abundante cobertura vegetal, os valores de Dns são altos, correspondendo, às vezes, a mata preservada. Deve ser salientado que a imagem de 1987 apresenta uma grande concentração de nuvens, fundamentalmente na porção Leste e Sul da província, como pode ser observado na

Figura 32. As nuvens tem elevada reflectância em todas as bandas da SPOT, o que leva a uma resposta, em composições coloridas, semelhante a áreas densamente urbanizadas, aparecendo na imagem com tons de cinza muito claro a branco. Esse fato dificultou a análise estatística que foi feita para cada município da capital nas imagens classificadas (Figs. 19 e 22) das duas datas analisadas, a qual é apresentada na tabela a seguir:

Municípios/Classes	Baixo I.V.		Médio I.V.		Alto I.V.		Área total	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
PLAYA (*) (**)	20.1 6	62.0 1	11.7 5	36.1 3	0.60	1.86	32.5 1	100
LA LISA (**)	10.7 6	29.0 7	21.0 5	56.8 7	5.21	14.0 6	37.0 1	100
BOYEROS (**)	2.39	2.20	71.2 7	65.6 2	34.9 4	32.1 8	108. 6	100
MARIANAO (**)	10.2 1.	44.8 2	10.4 4	45.8 5	2.12	9.33	22.7 7	100
PLAZA	10.5 0	86.4 1	1.58	13.0 0	0.07	0.59	12.1 5	100
CERRO	7.91	78.2 0	1.98	19.5 3	0.23	2.27	10.1 1	100
10 DE OCTUBRE	10.6 9	87.1 3	1.45	11.8 3	0.13	1.04	12.2 7	100
ARROYO NARANJO (**)	18.8 1	22.1 0	43.0 8	50.6 2	23.2 2	27.2 8	85.1 0	100
CENTRO HABANA	3.50	99.6 3	0.01	0.37	0.00	0.00	3.51	100
HABANA VIEJA	4.62	95.7 1	0.21	4.29	0.00	0.00	4.82	100
REGLA	6.77	68.0 8	3.06	30.7 8	0.11	1.14	9.94	100
SAN MIGUEL DEL PADRON	10.6 2	42.3 5	12.0 9	48.2 0	2.37	9.45	25.0 9	100
COTORRO (**)	16.1 1	24.5 3	34.8 4	53.0 4	14.7 3	22.4 3	65.6 8	100
GUANABACOA (**)	22.1 6	16.7 6	79.1 7	59.8 9	30.8 7	23.3 5	132. 2	100
HABANA DEL ESTE(**)	39.6 2	28.3 4	84.5 1	60.4 5	15.6 7	11.2 1	139. 8	100
TOTAL PROVINCIAL	194. 8	27.7 7	376. 5	53.6 6	130. 3	18.5 7	701. 6	100

Tabela 5. Áreas (em km²) correspondentes a ALTO, MÉDIO e BAIXO Índice de Vegetação por município em 1987. (*) valores alterados por falta de dados. (**) valores alterados por presença de nuvens. Resultados obtidos pela aplicação de IVS em imagem XS-SPOT.

Para lograr uma melhor visualização dos resultados do fatiamento feito para os Índices de vegetação simples da imagem SPOT, foram representados gráficamente os valores numéricos obtidos para cada município, os que são apresentados a seguir.

CENTRO HABANA

HABANA VIEJA

CERRO

PLAZA

10 DE OCTUBRE

MARIANAO

SAN MIGUEL DEL PADRÓN

PLAYA

LA LISA

COTORRO

ARROYO NARANJO

BOYEROS

GUANABACOA

HABANA DEL ESTE

REGLA

Os valores obtidos para cada tipo de índice de vegetação correspondem, geralmente, com o grau de urbanização (estruturação urbana) de cada território, sendo que municípios menos urbanizados (localizados na periferia), apresentam grandes áreas com ALTOS IV (*Boyeros, Guanabacoa e Arroyo Naranjo*). Da mesma forma, nos municípios onde se iniciaram, no século passado, os primeiros assentamentos da cidade (*Centro Habana e Habana Vieja*), não se observam áreas com ALTOS IV. Essa correspondência está presente para as três classes de índices de vegetação determinados neste trabalho.

A classe BAIXO I.V. está amplamente representada nos municípios da área metropolitana, evidenciando a falta de cobertura vegetal nesta região da província no período analisado. Já para outros municípios com características rurais, verifica-se uma diminuição considerável da porcentagem de áreas cobertas por essa classe, tendo como valor extremo o município Boyeros o qual apresenta só um 2.2% de seu território ocupado por BAIXO I.V.

A classe mais homogeneamente distribuída por toda a província é a Médio I.V. (53.66% da área total), atribuindo às regiões Centro Habana e Habana Vieja, valores muito pequenos (0.37% e 4.29% de suas áreas, respectivamente), evidenciando reiterativamente a ausência de vegetação. Esse fato torna-se ainda mais saliente se observado na tabela acima que esses dois municípios não apresentam áreas da classe ALTO I.V. (0.0%).

Os dados obtidos dos índices de vegetação simples classificados da imagem SPOT de 1987, revelam a ausência de 'cobertura vegetal importante' nos municípios mais populosos da capital, ao contrário do que ocorre em regiões mais afastadas da área metropolitana, onde os dados indicam a presença de uma cobertura vegetal considerável.

5.2.2.2 Resultados da classificação MaxVer

A classificação pelo método da máxima verossimilhança da imagem SPOT de 1987 (Fig. 23) objetivou a determinação dos diferentes tipos de cobertura (classes de ocupação) existentes na área de estudo. Este método foi utilizado como uma ferramenta na confecção do mapa de ocupação do terreno desta data, e posterior

comparação com os dados da imagem de 1996, podendo assim analisar a dinâmica de ocupação ocorrida neste período.

A seguir serão apresentados os resultados estatísticos do processo de classificação dos diferentes temas pré-selecionados na área de estudo para a imagem de 1987, utilizando diferentes limiares nas operações do cálculo.

Para um Limiar de 7.80

Número	Classe	N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	MURB	3.4	93.6	2.1	0.2	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0
2	URB	2.6	5.4	73.3	10.6	6.2	0.0	1.4	0.2	0.3	0.0
3	PURB	1.4	0.6	22.7	49.8	20.8	0.0	1.9	0.8	0.7	1.3
4	RURAL	1.0	0.0	3.5	5.8	74.9	0.0	0.0	0.0	1.6	13.2
5	ÁGUA	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	94.8	0.0	0.0	1.2	0.0
6	SOLO EXPO	5.8	0.0	1.3	3.1	0.5	0.0	84.4	4.6	0.0	0.3
7	NUVENS	8.6	0.0	0.9	2.3	0.3	0.0	0.4	82.1	5.2	0.2
8	SOMBRA	3.2	0.0	1.1	1.6	1.3	0.0	0.0	1.0	91.7	0.1
9	VEG DENSA	1.7	0.0	0.9	0.4	6.2	0.0	0.3	0.0	0.0	90.4

Desempenho médio: 79.83

Abstenção média: 3.52

Confusão média: 16.64

Para um Limiar de 11.30

Número	Classe	N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	MURB	1.0	96.0	2.1	0.2	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0
2	URB	0.3	6.1	74.0	11.1	6.4	0.0	1.5	0.2	0.4	0.0
3	PURB	0.1	0.8	23.1	50.3	20.8	0.0	1.9	0.9	0.8	1.3
4	RURAL	0.0	0.0	3.6	5.9	75.6	0.0	0.0	0.0	1.6	13.2
5	ÁGUA	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	97.2	0.0	0.0	1.4	0.0
6	SOLO EXPO	3.2	0.0	1.4	3.7	0.7	0.0	84.9	5.8	0.0	0.3
7	NUVENS	1.4	0.0	1.0	2.5	0.4	0.0	0.5	88.3	5.6	0.2
8	SOMBRA	0.7	0.1	1.5	1.9	1.3	0.0	0.0	1.3	93.1	0.1
9	VEG DENSA	0.3	0.0	0.9	0.5	6.2	0.0	0.3	0.0	0.0	91.8

Desempenho médio: 82.03

Abstenção média: 0.73

Confusão média: 17.25

Para um Limiar de 16.30

Número	Classe	N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	MURB	0.2	96.8	2.1	0.2	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0
2	URB	0.0	6.3	74.0	11.1	6.4	0.0	1.5	0.3	0.5	0.0
3	PURB	0.0	0.8	23.1	50.3	20.8	0.0	1.9	0.9	0.8	1.3
4	RURAL	0.0	0.0	3.6	5.9	75.6	0.0	0.0	0.0	1.6	13.2
5	ÁGUA	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	97.5	0.0	0.0	1.7	0.0
6	SOLO EXPO	2.9	0.0	1.4	3.9	0.70	0.0	85.0	5.8	0.0	0.3
7	NUVENS	0.1	0.1	1.1	2.5	0.5	0.0	0.5	89.3	5.8	0.2
8	SOMBRA	0.1	0.1	1.5	1.9	1.4	0.0	0.0	1.4	93.5	0.1
9	VEG DENSA	0.0	0.0	0.9	0.5	6.2	0.0	0.3	0.0	0.0	92.1

Desempenho médio: 82.32

Abstenção média: 0.26

Confusão média: 17.42

Na análise das amostras os limiares de 11.30 e 16.30 apresentaram resultados mais aceitáveis, obtendo os máximos desempenhos médios (82.03 e 82.32 respectivamente), embora a confusão média tenha aumentado, de forma pouco significativa, mantendo-se em níveis elevados.

Dentro de todas as classes analisadas a que apresentou os melhores resultados foi a muito urbanizada (MURB), com um grau de certeza muito alto (96.8%), correspondendo à análise comparativa da interpretação visual. Os limites entre esta classe (MURB) e a classe mais contígua (URB), foram bem definidos para a área toda. Já entre as classes (URB) e (PURB), assim como entre as classes (PURB) e RURAL, os limites aparecem com maior confusão. Isto deve-se ao fato desses limites, no terreno, serem limites artificiais, não existindo fronteira entre uma classe e a contígua, e portanto, contendo pixels com diferentes materiais superficiais. Procurou-se localizar as áreas de treinamento, em locais estritamente pertencentes a cada classe para

minimizar a mistura de pixels de diferentes classes, mas mesmo assim os resultados são pouco claros.

O menor grau de certeza foi verificada na classe pouco urbanizada, obtendo-se um grau de confusão alto com as classes urbanizada (23.1) e rural (20.8). Na área de estudo, a classe PURB corresponde à zonas onde predomina uma ocupação urbana baixa, existindo dentro dela uma grande heterogeneidade (construções, terrenos baldios, solo exposto, etc.). As respostas espectrais desses materiais diferem muito em quaisquer comprimento de onda do espectro eletromagnético das bandas do sensor. Com o objetivo de agrupar os pixels isolados (ou pequenos grupos de pixels) que continham a imagem classificada, foi feito um pós-processamento chamado homogeneização de temas, no qual alguns desses pixels foram removidos para outras áreas adjacentes pertencentes à outras classes.

Na figura 23 aparecem os resultados da classificação MaxVer da imagem SPOT de 1987, apresentada com a finalidade de se observar visualmente a pouca informação fornecida para a confecção do mapa de ocupação do terreno. Os resultados obtidos não atingiram os objetivos propostos nesta pesquisa, mostrando que o estudo de diferenciação de classes de ocupação em meios urbanos, em regiões com características semelhantes à área de estudo, numa análise pixel a pixel, conduz a erros de classificação, como já foi encontrado por Weber, et al. (1991, op cit.).

5.2.2.3 Mapa de ocupação do terreno em 1987

A partir da interpretação visual das composições coloridas 3/2/1 da imagem XS-SPOT de 1987 (Figs.27a até 27f), foi obtido o mapa de ocupação do terreno em 1987 (Fig. 33), onde estão representadas as classes de ocupação determinadas para a presente pesquisa. Com o intuito de comparar os dados das três datas que foram adquiridas para a análise da dinâmica de ocupação, foram determinadas as mesmas classes que para as fotografias aéreas de 1956.

O processo de identificação e seleção das diferentes classes de ocupação esteve avaliado por trabalhos de campo, visando fundamentalmente o conhecimento geral da área de estudo, assim como o esclarecimento e comprovação de zonas de interesse de acordo aos resultados parciais obtidos. Uns dos objetivos foi a revisão em campo dos locais que apresentavam dúvidas com relação as respostas espectrais das

diferentes cenas obtidas através do processamento digital das imagens XS-SPOT de 1987 e TM-LANDSAT do ano 1996, embora a ênfase estivesse voltada às composições obtidas da imagem LANDSAT de agosto de 1996, por ser a data mais próxima da realização dos trabalhos de campo (dezembro de 1996). Por essa razão a discussão de alguns dos locais visitados serão apresentados no item correspondente ao ano 1996.

Nota-se na figura 28 ausência da classe VEG DENSA motivado pela inclusão dessa classe dentro da classe RURAL. Embora as superfícies cobertas por vegetação densa sejam bem realçadas nas composições coloridas das imagens adquiridas para a presente pesquisa (alta reflectância no IV-próximo e baixa reflectância nas bandas do visível), optou-se por analisar a vegetação separadamente, através dos processamentos digitais de imagens reconhecidos pela literatura internacional (Índices de vegetação simples e normalizados), da forma que aparecem no item 4.2.3.1. As áreas que aparecem no mapa como VEG DENSA, foram incluídas para poder fazer posteriormente as operações aritméticas entre imagens de diferentes datas (para obter os mapas da dinâmica), toda vez que na interpretação das fotografias aéreas foi necessário incluir essa classe independentemente.

No ano 1987 a população de *Ciudad de La Habana* era de 2 059 223 habitantes (*Oficina Territorial de Estadísticas. Ciudad Habana, 1996*), distribuída mais homogeneamente que em 1956, fruto da política de crescimento no sentido Leste-Oeste, que teve sua concretização jurídica no Plano Diretor de 1984 (Mario González, 1993 op. cit.). Embora com os municípios do centro da cidade continuando intensamente ocupados, já se observa que municípios da periferia (*Playa, Arroyo Naranjo e Boyeros*, entre outros) estão entre os mais populosos da época (ver tabela 12). Os padrões tonais e texturais que caracterizam a Havana histórica (*Habana Vieja*) e *Centro Habana*, principalmente, que foram classificados como classe MURB, estão presentes em outras regiões do oeste da capital (município Playa).

Com a mesma finalidade que para a data de 1956, foram cruzados os dados de 'classes de ocupação' com os municípios da capital, os que são apresentados a seguir.

Município/classe	MURB	URB	PURB	RURAL	VEG. DENSE	SOLO EXPO	CORPOS D'ÁGUA	OUTROS	TOTAL(km ²)
Playa	2.47	2.68	8.95	19.79	1.06	0.05	0	0.35	35.37
Lisa	0	2.17	8.17	26.65	0	0	0	0	36.98
Boyerros	0	0.45	19.63	108.31	0.62	0.13	0.02	0.88	130.05
Marianao	0	6.22	2.07	14.28	0	0.19	0	0	22.77
Plaza	0.53	6.67	4.31	0.63	0	0	0	0	12.14
Cerro	2.92	2.37	2.24	2.48	0.10	0	0	0	10.11
10 de Octubre	3.42	5.86	2.47	0.04	0.48	0	0	0	12.27
Arroyo Naranjo	0	0.12	18.11	63.09	1.69	0.08	1.99	0	85.09
Centro Habana	3.40	0.11	0	0	0	0	0	0	3.51
Habana Vieja	2.35	0.49	1.97	0	0	0	0	0	4.81
Regla	0	1.29	5.89	2.63	0	0.11	0	0	9.92
San Miguel	0	1.88	10.26	12.23	0.44	0	0.28	0	25.09
Cotorro	0	0	10.93	53.75	0	0.97	0	0	65.65
Guanabacoa	0	1.98	10.54	116.86	0	1.65	1.13	0	132.17
Habana del Este	0.50	4.03	20.54	112.01	0	0.69	0.68	1.25	139.70
TOTAL	15.61	36.32	126.09	532.74	4.40	3.89	4.11	2.48	725.62

Tabela 6. Áreas (em km²) ocupadas por cada classe em 1987 para cada município, a partir da interpretação de composições coloridas XS-SPOT (3/2/1-RGB)

5.2.3 Ciudad de La Habana em 1996 (Imagem TM-Landsat)

5.2.3.1 Análise dos índices de vegetação

Nas figuras 20 e 21 estão apresentados os resultados dos Índices de Vegetação Simples (IVS) e Índices Normalizado de Diferença de Vegetação (INDV), respectivamente, da imagem de 1996. Semelhante ao que foi apresentado na imagem de 1987, em tons claros aparecem as áreas com abundante vegetação e em tons escuros, áreas com superfícies menos vegetadas (maior grau de urbanização). Com o objetivo de comparar as imagens, foi feita a classificação (fatiamento), dividindo-se em três classes os resultados do índice de vegetação simples (Fig.22), os quais são apresentados na tabela a seguir.

Municípios/Classes	Baixo	I.V.	Médio	I.V.	Alto	I.V.	Área	Total
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
PLAYA	22.55	64	12.38	35	0.51	1	35.44	100
LA LISA	13.37	36	21.2	57	2.46	7	37.03	100
BOYEROS	30.98	24	85.82	66	13.29	10	130.09	100
MARIANAO	10.45	46	11.44	50	0.88	4	22.77	100
PLAZA	10.75	88	1.36	11	0.04	0	12.15	100
CERRO	8.08	80	1.89	19	0.14	1	10.11	100
10 DE OCTUBRE	10.82	88	1.38	11	0.07	1	12.27	100
ARROYO NARANJO	24.35	28	51.05	60	10.33	12	85.73	100
CENTRO HABANA	3.49	99	0.02	1	0	0	3.51	100
HABANA VIEJA	4.65	96	0.17	4	0	0	4.82	100
REGLA	7.36	74	2.56	26	0.01	0	9.93	100
SAN MIGUEL	11.18	45	12.9	51	1.01	4	25.09	100
COTORRO	12.81	20	44.99	69	7.87	12	65.67	100
GUANABACOA	39.04	30	85.61	65	7.54	6	132.19	100
HABANA DEL ESTE(*)	43.87	33	80.91	62	6.28	5	131.06	100
TOTAL PROVINCIAL	253.75	35	413.68	58	50.43	7	717.86	100

Tabela 7. Áreas (em km²) correspondentes a ALTO, MÉDIO e BAIXO Índice de Vegetação por município em 1996. (*) valores alterados por falta de dados. Resultados obtidos pela aplicação de IVS em imagem TM-LANDSAT.

Os resultados da classificação do índice de vegetação simples da imagem mais recente, apresentam tendências gerais semelhantes à imagem antiga, salientando-se as diferenças entre os municípios de menor grau de urbanização, localizados na periferia, com municípios do centro da cidade.

Na tentativa de estabelecer uma comparação entre os índices de vegetação classificados da imagem de 1987 e 1996, foi realizada uma análise estatística por classe (tabela 8) e feita a descrição das principais mudanças ocorridas nestes nove anos. A seguir é apresentada a tabela que contém os dados estatísticos das áreas

ocupadas por cada classe de índice de vegetação classificado, nas duas datas analisadas.

CLASSES/MUNICÍPIOS	BAIXO I.V. (Km ²)			MÉDIO I.V. (Km ²)			ALTO I.V. (Km ²)		
ANOS	1987	1996	ΔB iv	1987	1996	ΔM iv	1987	1996	ΔA iv
PLAYA(*)	20.16	22.55	2.39(+)	11.75	12.38	0.63(+)	0.60	0.51	0.09(-)
LA LISA	10.76	13.36	2.6(+)	21.05	21.20	0.15(+)	5.21	2.46	2.75(-)
BOYEROS	2.39	30.98	28.6(+)	71.27	85.82	14.5(+)	34.94	13.29	21.7(-)
MARIANAO	10.21	10.45	0.24(+)	10.44	11.44	1.0(+)	2.12	0.88	1.24(-)
PLAZA	10.50	10.75	0.25(+)	1.58	1.36	0.22(-)	0.07	0.04	0.03(-)
CERRO	7.91	8.08	0.17(+)	1.98	1.89	0.9(-)	0.23	0.14	0.09(-)
10 DE OCTUBRE	10.69	10.82	0.13(+)	1.45	1.38	0.7(-)	0.13	0.07	0.06(-)
ARROYO	18.81	24.35	5.54(+)	43.08	51.05	7.90(+)	23.22	10.33	12.9(-)
CENTRO HABANA	3.50	3.49	0.01(-)	0.01	0.02	0.01(-)	0.0	0.0	0.0
HABANA VIEJA	4.62	4.65	0.03(+)	0.21	0.17	0.04(-)	0.0	0.0	0.0
REGLA	6.77	7.36	0.59(+)	3.06	2.56	0.5(-)	0.11	0.01	0.1(-)
SAN MIGUEL	10.62	11.18	0.56(+)	12.09	12.90	0.80(+)	2.37	1.01	1.36(-)
COTORRO	16.11	12.81	3.3(-)	34.84	44.99	10.15(+)	14.73	7.87	6.86(-)
GUANABACOA	22.16	39.04	16.9(+)	79.17	85.61	6.43(+)	30.87	7.54	23.3(-)
HABANA DE ESTE(**)	39.62	43.87	4.25(+)	84.51	80.91	3.6(-)	15.67	6.28	9.39(-)
TOTAL	194.8	253.6	59	377.5	412.7	35.2	130.3	50.4	-79.87

Tabela 8. Comparação dos índices de vegetação simples classificados das imagens de 1987 e 1996.

(*)- Falta de dados na imagem Spot.

(**)- Falta de dados na imagem Landsat

Os sinais mais (+) e menos (-) que aparecem nas colunas de diferença de BAIXO índice (ΔB), MÉDIO índice (ΔM) e ALTO índice (ΔA) na tabela, referem-se a aumento (+) ou diminuição (-) das áreas vegetadas em cada classe, tendo como valor inicial os dados da imagem de 1987.

A comparação entre os dados obtidos dos índices de vegetação simples classificados, foi feita a partir dos valores numéricos (% de cobertura vegetal)

calculados dos dados inicialmente obtidos pelo comando CROSSTAB, para cada município da província *Ciudad de La Habana*. Através da análise descritiva, foram encontrados algumas generalidades e particularidades que serão expostas a seguir.

Classe **BAIXO IV**. (associada a classes de ocupação muito urbanizada e urbanizada).

Esta classe aumentou em todos os municípios da capital, com exceção do município *Cotorro* que diminuiu nestes nove anos que estão sendo analisados. Na verdade esse decréscimo não é real pois há a interferência de nuvens acima dos povoados de *Cuatro Caminos* (região sudeste) e *Las Guásimas* (região centro ocidental) na imagem de 1987, como pode ser observado no mapa gerado para esse fim (Fig. 32).

De forma geral o incremento desta classe foi moderado, provocado pelo processo de urbanização ocorrido na província, o que resulta numa diminuição de coberturas vegetais importantes (classes MÉDIO IV e ALTO IV) passando para BAIXO IV.

Particularmente os municípios *Boyeros* e *Guanabacoa* aumentaram consideravelmente as áreas ocupadas. Pode-se observar nas figuras 19 e 22 que as mudanças experimentadas em *Boyeros* localizam-se nos arredores do aeroporto internacional *José Martí*, que neste período sofreu transformações (ampliações) de caráter civil. Para o município *Guanabacoa* esse incremento deve-se ao seguinte: no ano de 1987, data de aquisição da imagem SPOT, a área que atualmente ocupa a barragem *Bacuranao*, aparece como um local de vegetação densa (classe ALTO IV), onde ocorre uma alta reflectância no infra-vermelho (banda 3) e uma baixa reflectância no vermelho (banda 2). Na ocasião da obtenção da imagem SPOT a represa de *Bacuranao* estava restrita a uma pequena área, com o restante da área, normalmente sob a água, exposta, e decerto recoberta por gramíneas. Como é usual nesta situação, estas gramíneas, por seu intenso metabolismo e geometria apropriada das folhas, gera intensa resposta no I.V. próximo, sugerindo uma cobertura vegetal densa. No processo de divisão de bandas para a obtenção dos índices de vegetação resulta em valores altos de DN's. Já na época que foi adquirida a imagem LANDSAT, no ano de 1996, o corpo d'água represado aparece em toda aquela antiga área de vegetação densa. A

água absorve a radiação eletromagnética na banda TM4, apresentando valores baixos que, quando divididos pelos valores da banda 3 (reflectância média), resultam naturalmente em baixos índices de vegetação. Essa foi uma das principais causas do incremento da classe BAIXO IV no município *Guanabacoa*.

Os municípios que mantiveram invariáveis as superfícies ocupadas por índices de vegetação baixos (BAIXO I.V.) foram *Centro Habana* e *Habana Vieja*, mostrando assim que apesar de serem locais extremamente urbanizados, tem mantido uma certa estabilidade no processo de urbanização neste período.

Classe **MÉDIO I.V.** (associadas a classes de ocupação pouco urbanizadas ou rural)

Quando analisados os resultados comparativos desta classe, pode-se notar rapidamente uma grande diferença entre os valores obtidos para os municípios de *Cotorro* e *Boyerros* (15.5% e 13.3%, respectivamente) e os demais municípios da província. Para *Cotorro*, novamente a quantidade de nuvens presente na imagem SPOT de 1987 trouxe como consequência variações anômalas irreais, acarretando mudanças, em 1987, da classe BAIXO I.V. (produzidas pelas nuvens) para classe MÉDIO I.V. em 1996. Outra razão para o aumento significativo, visivelmente expresso nas imagens classificadas (figuras 19 e 22, em cores verdes), é a diminuição das áreas com vegetação densa (classe ALTO I.V.), e que por algum motivo passaram a ser locais mais urbanizados (classe MÉDIO I.V.). Essa mesma razão foi a causa principal do aumento excessivo desta classe nos municípios de *Boyerros* (região Sul e Leste do aeroporto *Jasé Martí*) e *Arroyo Naranjo* (parte Central e Sul).

Esta classe ampliou-se moderadamente nos municípios de *Guanabacoa*, *San Miguel del Padrón* e *Marianao*, produto da utilização de regiões de mata preservada ou de abundante vegetação (classe ALTO I.V.) para outros fins (agrícolas ou algum tipo de assentamento urbano) e, também, em alguns casos, pela presença de nuvens na imagem SPOT (passou de BAIXO I.V. para MÉDIO I.V.).

O município *10 de Octubre* se manteve sem mudanças neste período, enquanto *La Lisa* e *Centro Habana* aumentaram apenas 0.5% e 0.2 %, respectivamente, suas áreas desta classe de índices de vegetação. Deve ser salientado que esse aumento significa, pelo menos, alguma recuperação e/ou reflorestamento de pequenas áreas que

estavam antigamente sem cobertura vegetal, já que nestes municípios não existia, no ano 1987, nenhuma mancha de vegetação densa nos seus territórios.

Classe **ALTO I.V.** (associada a classes de ocupação rural e/ou vegetação densa).

A porcentagem de cobertura vegetal calculada entre estas duas datas, para esta classe de índice de vegetação, mostrou uma diminuição para todos os municípios da capital do país, com a exceção de *Centro Habana* e *Habana Vieja* (0%). Isto significa que existiu no período analisado um desmatamento ou uma mudança de uso e ocupação de solo em áreas antigamente ocupadas por vegetação preservada. As regiões que sofreram alterações mais significativas estão localizadas nos municípios mais afastados do centro da cidade, como são *Boyerros*, *Arroyo Naranjo*, *Guanabacoa*, e *Cotorro*, os de maiores superfícies cobertas por vegetação densa e assim são mais sujeitos ao desmatamento.

Este fato provavelmente tem sua explicação pelos problemas econômicos que aconteceram em Cuba depois da queda do bloco socialista em 1991. Uma das alternativas do país foi a agricultura familiar, na qual eram preparadas e plantadas áreas que inicialmente poderiam ou não estar ocupadas por abundante vegetação. As terras em preparação para cultivo tem respostas diferentes de áreas vegetadas, pela freqüente presença de solo exposto, explicando essa diminuição desta classe ALTO I.V., a qual poderia sugerir um processo de urbanização mais intenso do que o real.

Outro acontecimento que seguramente teve a ver com a perda de cobertura vegetal foi a revitalização do sistema de construção de moradias para os trabalhadores, denominado "sistema de microbrigadas", que proclamou-se no ano 1986. Isso provocou um auge nas construções em todo o país, principalmente na capital, *Ciudad de La Habana*. Foi necessário utilizar terrenos baldios dentro do tecido da cidade e também em outras áreas vazias em municípios periféricos, tanto para moradias quanto para o desenvolvimento da infraestrutura desses municípios, originalmente mais rurais e que se urbanizaram.

5.2.3.2 Resultados da classificação Maxver

Embora os resultados da classificação MaxVer da imagem de 1987 não tenha acrescentado muitas informações na determinação das diferentes classes de ocupação do terreno, foi feita também a classificação MaxVer para a imagem de 1996 (Fig. 24). Esta classificação foi feita, mesmo com a imagem TM-LANDSAT apresentando uma resolução espacial menor, visando a obtenção de maiores informações dos diferentes temas que aparecem na área de estudo e para um melhor entendimento da dinâmica de ocupação neste período. Para a imagem TM-LANDSAT foram obtidos, os seguintes resultados estatísticos:

Para Limiar de 7.80

Número	Classe	N	1	2	3	4	5	6	7
1	MURB	15.4	80.3	3.5	0.6	0.0	0.0	0.0	0.1
2	URB	17.2	9.8	59.1	11.5	1.9	0.0	0.0	0.4
3	PURB	16.4	1.2	20.0	48.3	12.3	0.0	0.0	1.8
4	RURAL	17.3	0.0	0.8	3.3	69.1	0.0	9.1	0.2
5	ÁGUA	19.2	0.0	0.0	0.0	0.0	80.8	0.0	0.0
6	VEG Densa	17.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.0	79.8	0.0
7	SOLO EXPO	18.6	0.0	0.0	1.2	0.4	0.0	0.0	79.8

Desempenho médio: 71.50

Abstenção média: 17.95

Confusão média: 10.55

Para um Limiar de 16.8

Número	Classe	N	1	2	3	4	5	6	7
1	MURB	2.0	90.9	5.4	1.0	0.0	0.0	0.0	0.6
2	URB	2.1	12.3	68.4	13.7	2.6	0.0	0.0	1.0
3	PURB	2.7	1.5	22.4	56.5	14.0	0.0	0.0	2.9
4	RURAL	1.7	0.0	1.1	5.1	77.4	0.0	14.4	0.4
5	ÁGUA	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	98.2	0.0	0.0
6	VEG DENSA	0.3	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	95.7	0.0
7	SOLO EXPO	3.6	0.0	0.0	2.8	0.4	0.0	0.0	93.3

Desempenho médio: 84.55

Abstenção média: 1.91

Confusão média 13.53

Para um Limiar de 22.50

Número	Classe	N	1	2	3	4	5	6	7
1	MURB	0.7	91.6	5.9	1.0	0.1	0.0	0.0	0.7
2	URB	0.8	12.5	69.0	14.0	2.6	0.0	0.0	1.2
3	PURB	1.0	1.6	22.6	57.4	14.1	0.0	0.0	3.3
4	RURAL	0.6	0.0	1.1	5.3	77.9	0.0	14.5	0.6
5	ÁGUA	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	99.2	0.0	0.
6	VEG DENSA	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	0.0	95.9	0.0
7	SOLO EXPO	1.2	0.0	0.0	2.8	0.4	0.0	0.0	95.7

Desempenho médio: 85.37

Abstenção média: 0.74

Confusão média 13.89

Na imagem de 1996, os melhores resultados da classificação foram obtidos com o limiar de 22.50, com um desempenho médio de 85.37, ainda que o grau de confusão seja muito alto (13.89), principalmente para as classes URB, PURB e RURAL, situação semelhante à da imagem SPOT.

A classe URB tem um alto grau de confusão com as classes PURB e MURB, embora esta última seja bem definida. A classe URB está definida para áreas onde o grau de urbanização é médio, existindo materiais superficiais tanto da classe MURB quanto da PURB, resultando em pixels mistos e consequentemente respostas espectrais diferentes.

Para a classe RURAL, apesar de ser uma classe mais homogênea, obteve-se resultados pobres, confundindo com a classe VEG DENSA. De fato existem, nas regiões rurais, cultivos que em determinado estágio de seu desenvolvimento a foliagem é similar a de uma mata preservada (ou vegetação densa).

No município Playa, localizado na porção mais ao Norte e Oeste da província, desde a década dos anos 20, pela sua localização geográfica (perto do litoral), foi criado um bairro com características muito diferentes aos demais bairros da capital. Neste município é comum grandes mansões com árvores ao redor e ruas com vegetação abundante. Pela densidade de ocupação urbana, deveria ter sido classificada como uma classe URB. Nas duas imagens classificadas pelo método MaxVer aparecem freqüentemente grupos de pixels e pixels isolados pertencentes as classes PURB e RURAL. Isto se deve à quantidade de cobertura vegetal existente nessa zona residencial. Pelas respostas espectrais das composições coloridas das duas datas, essa zona também foi interpretada visualmente como áreas pouco urbanizadas.

Apesar dos resultados das classificações acrescentarem pouca informação aos mapas de ocupação do terreno, algumas evidências foram encontradas. Comparando-se o resultado da classificação da imagem TM (1996) com a SPOT (1987), pode-se verificar alguns aspectos da dinâmica urbana: a classe urbana muito densa da porção central de Havana, que inclui a *Habana* histórica (Habana Vieja), não houve importante evolução, exceto na área do porto. Para esta mesma área, entretanto, nas fotografias aéreas de 1956 a costa interna à baía e ao norte de *Habana Vieja* a ocupação praticamente não existia. Este adensamento de ocupação na porção da baía se deve essencialmente das atividades portuárias (fruto do desenvolvimento econômico). Já na porção a norte de *Habana Vieja* a ocupação se deu basicamente pelo aumento da população devido às correntes migratórias após a Revolução.

5.2.3.3 Mapa de ocupação do terreno em 1996

Como resultado do processamento e interpretação das composições coloridas RGB TM4/TM3/TM2 (Figs. 30a até 30j) e TM3/TM2/TM1 (Figs. 29a e 29b) da imagem TM-LANDSAT de 1996, foi gerado o mapa de ocupação do terreno de *Ciudad de La Habana* (Fig. 31), última data compreendida no estudo da dinâmica de ocupação da província. Para a confecção do mapa foram muito importantes as comprovações de campo, e em menor medida, os resultados do índice de vegetação e da classificação MaxVer.

Os trabalhos de comprovação em campo dos locais de interesse foram executados quatro meses depois de ser adquirida a imagem, pelo que as mudanças, nesse intervalo de tempo, foram insignificantes com relação à composição geral dos diferentes tipos de cobertura superficiais existentes (correspondentes às classes de ocupação selecionadas). A seguir serão expostas (referidas principalmente as composições coloridas RGB TM4/ TM3/ TM2), algumas particularidades encontradas no terreno. Para tal efeito foi confeccionado o mapa de localização dos locais comprovados em campo (Fig. 33a e 33b).

Na figura 33a (área 13), que corresponde com a cena 1 da composição TM4/3/2, comprovou-se que as manchas que aparecem com cor branca, são produzidas por nuvens, já que nestas áreas não existem objetos na superfície que possam produzir esse tipo de resposta espectral nestes comprimentos de onda. Sua ocupação atual é similar às áreas de seu entorno.

Também nesta mesma cena aparece uma área (nº 15) em cor verde escuro, a qual deveria aparecer em tons vermelhos por estar ocupada por plantações agrícolas. Supúnhamos ao princípio da visita, que essa cor era devida ao fato de que a irrigação destas plantações é feita pelo método de aspersão, o qual cria uma camada de água que absorve grande parte das radiações no infravermelho próximo. De acordo a averiguações feitas com trabalhadores destas granjas estatais, na época que foi adquirida essa imagem (agosto do ano 1996), a área tinha plantações de soja e hortaliças. As plantações de soja em determinado período de desenvolvimento adquire uma coloração carmelita (pela ausência de clorofila) refletindo muito pouco no comprimento de onda do infravermelho próximo, o que explica a cor verde escura na composição colorida TM4/3/2.

Esse fato está registrado também ao observar a composição colorida TM3/2/1 (fig. 29a) onde observa-se claramente uma cor carmelita como resposta das bandas do visível. A partir disso, supõe-se que áreas com respostas espectrais semelhantes pertencem a culturas de soja neste mesmo estágio de desenvolvimento, fato que pode ser observado em vários locais do mesmo mapa.

Na maioria das áreas verificadas nos trabalhos de campo, o padrão tonal das diferentes cenas mostraram a realidade da distribuição dos tipos de coberturas existentes no terreno. Desta forma, pode-se constatar, na cena1 (Fig. 30a) a existência de uma área dentro da mancha urbana (nº 18 da Fig. 33a) ocupada por uma vegetação arbustiva de pequeno e médio porte e herbazais, bem representada nesta composição colorida. Nesta mesma cena identificou-se um pequeno setor (área 14 da Fig. 33a) que corresponde a construções de galpões avícolas, delimitados de forma muito nítida nestas composições. Nesta mesma cena, a área 20 da Figura 33a apresenta uma pequena elevação muito pouco povoada e com vegetação herbácea escassa.

Na cena 2 (fig. 30b) localizam-se os assentamentos urbanos mais antigos da cidade. A partir da baía começa sua expansão territorial. No tecido urbano estão claramente diferenciadas essas zonas pelos arranjos texturais e variações de tonalidade que podem ser observados nesta figura. Algumas áreas nesta cena apresentam tonalidades mais claras que correspondem à zona do cemitério de Colón (área 8 da Fig. 33a) e à refinaria Níco López (área 9 Fig. 33a), sendo que esta última pode provocar esse tipo de resposta devido à emissão de fumaça, o que faz que se tenha efeito semelhante ao de neblina.

A área 23 (Fig. 33a) pode ser bem observada na cena 2 (Fig. 27b). Corresponde ao vale do rio *Cojimar*, um vale encaixado (profundo) de vegetação muito abundante. Embora tenha abundante cobertura vegetal, as respostas espectrais não correspondem fielmente (cores escuras), possivelmente por estresse da vegetação por excesso de umidade.

Os padrões tonal e textural das áreas utilizadas para pastagem estão muito bem determinadas nas composições coloridas das duas imagens, e foram verificadas em campo nas áreas 1 e 2 da figura 33b, as quais podem ser bem observadas na cena 4 da composição TM4/3/2 (Fig. 30d). Dentro da área 2 aparece uma pequena barragem (assinalada com cor preta) que é utilizada para o abastecimento de água ao gado. É de

se supor, como foi constatado muitas vezes no transcorrer do trabalho, que a maioria das pequenas manchas de cor preta que aparecem dentro das áreas de pastagem sejam também represas, feitas muitas vezes, pelos próprios camponeses, com a mesma finalidade.

Na maioria das situações, os trabalhos de campo avaliaram os processamentos e tratamentos feitos nas imagens de sensoriamento remoto, sobretudo na imagem TM LANDSAT do ano 1996, ao corresponder-se com as características dos objetos encontrados no terreno. Todas essas comprovações foram de muita utilidade na interpretação dos diferentes produtos obtidos do processamento digital das imagens tratadas.

A seguir é apresentada a tabela que contém os resultados do cruzamento do mapa de ocupação em 1996 com o mapa dos municípios da província, executados também através do comando CROSSTAB do IDRISI.

Municípios/classes	MURB	URB	PURB	RURAL	VEG. DENSE	SOLO EXPO	CORPOS D'ÁGUA	OUTROS	TOTAL (km ²)
Playa	2.45	11.30	12.06	8.75	0.81	0	0	0	35.37
Lisa	0	8.35	3.45	24.83	0.31	0	0.05	0	36.99
Boyeros	0	11.96	16.53	100.53	0.23	0.04	0.003	0.77	130.06
Marianao	4.37	3.67	1.45	13.07	0	0.12	0.09	0	22.77
Plaza	0.41	11.54	0	0.19	0	0	0	0	12.15
Cerro	4.06	3.71	0.45	1.90	0	0	0	0	10.11
10 de Octubre	7.62	3.42	1.10	0.06	0.07	0	0	0	12.27
Arroyo Naranjo	0	11.71	9.24	61.66	0	0.11	2.36	0	85.09
Centro Habana	3.48	0.03	0	0	0	0	0	0	3.51
Habana Vieja	3.28	0.48	1.06	0	0	0	0	0	4.81
Regla	1.24	3.49	3.29	1.89	0	0	0	0	9.92
San Miguel	2.00	7.71	1.93	13.32	0	0	0.12	0	25.09
Cotorro	0	1.47	13.38	50.62	0.19	0	0	0	65.66
Guanabacoa	0	4.04	9.48	113.89	0.30	0.07	4.38	0	132.17
Habana del Este	0	9.06	4.62	125.07	0.09	0.09	0.78	0	139.71
TOTAL	28.91	91.93	78.04	515.80	2.00	0.44	7.79	0.77	725.67

Tabela 9. Áreas ocupadas por cada classe em cada município em 1996

Os resultados gráficos obtidos para esta data serão apresentados a seguir, em porcentagem por classes de índices de vegetação.

CENTRO HABANA

HABANA VIEJA

CERRO

PLAZA

10 DE OCTUBRE

MARIANO

SAN MIGUEL DEL PADRÓN

PLAYA

LA LISA

COTORRO

5.2.4 Avaliação do processo de expansão.

A confecção dos mapas de ocupação nas diferentes datas tiveram como objetivo principal a comparação entre eles para a obtenção do processo de expansão (dinâmica de ocupação) do território nos anos de 1956, 1987 e 1996, assim como o conhecimento do estado atual de ocupação.

Para a avaliação do comportamento da ocupação do terreno nesse período analisado, foram definidas seis classes de ocupação para cada data, visando utilizar operações matemáticas em ambiente SIG. A cada classe conferiram-se valores diferentes, de modo a não obter valores nulos e sempre dando um valor de mais seis (+6) na imagem da data mais recente, como mostra a tabela a seguir.

Classes de ocupação	Valores atribuídos a cada data		
	ano de 1956	ano de 1987	ano de 1996
Muito urbanizada	6	12	18
Urbanizada	5	11	17
Pouco urbanizada	4	10	16
Rural	3	9	15
Vegetação densa	1	7	13
Outros elementos da paisagem	50	56	62

Tabela 10. Valores atribuídos a cada classe de ocupação do terreno nas três datas analisadas.

A expressão “Outros elementos da paisagem”, refere-se a tipos de ocupação que não foram incluídos dentro das classes anteriormente definidas, para simplificar e facilitar as operações de comparação dentro do SIG, e correspondem, principalmente, às represas construídas nos últimos anos, com fins agrícolas e industriais, as quais aparecem nos mapas da dinâmica como “elementos novos”. A esta última classe foi atribuído um valor inicial muito diferente, para não haver confusão entre as demais classes. Isso contribuiu para alguns dos resultados da subtração nesta classe serem negativos, levando a imagem a uma nova reclassificação, processo que é feito de uma forma muito fácil e rápida no programa IDRISI.

Os resultados obtidos das operações de subtração da imagem mais recente pela mais antiga, registram as mudanças nesse período, que foram denominadas da seguinte maneira:

Elementos suprimidos: áreas que existiam na data inicial e que por algum motivo não existem mais na época recente. Por exemplo, o lugar ocupado por uma barragem, passou a ser vegetação densa.

Retrocesso médio: refere-se a áreas que passaram de um grau de urbanização maior a outro menor (resultaram em valores de 4 e 5). Por exemplo, uma classe inicialmente urbanizada (valor 5) que passou a classe rural (valor 9).

Retrocesso máximo: a diferença com a anterior é a intensidade da mudança. Áreas que converteram-se em não urbanizadas, tendo anteriormente certo grau de

urbanização (resultaram em valores de 1 a 3). Pode ser o caso de uma área que em 1956 era classe URB (valor 5) e em 1987 classe VEG DENSA (valor 7).

Estável: áreas que no período analisado mantiveram o mesmo tipo de ocupação (resultaram em valor 6).

Avanço médio: refere-se a locais onde o processo de urbanização ocorreu de uma forma moderada, passando sempre de um grau de urbanização menor a outro maior (resultaram em valores de 7 e 8). Por exemplo uma área URB (valor 5) na data antiga passou a MURB (valor 12) na data mais recente.

Avanço máximo: locais onde a urbanização ocorreu com maior intensidade que a anterior (resultaram em valores de 9 até 11). Pode ter acontecido em áreas que inicialmente estavam ocupadas por uma vegetação densa (valor 1) e passaram a ser áreas da classe URB (valor 11).

Elementos novos: foram denominados assim, as áreas ocupadas por 'outros elementos da paisagem', que surgiram a partir da interpretação dos materiais da última data analisada e que não existiam na data mais antiga.

5.2.4.1 Dinâmica de ocupação de 1956 até 1987.

Estudos realizados em 1990 pelo Grupo para o Desenvolvimento Integral da Capital de Cuba, qualifica o período entre 1953 e 1958, como sendo de forte desenvolvimento no setor construtivo. Algumas das obras executadas foram os três túneis da capital, vários hotéis, bem como o desenvolvimento de bairros na periferia urbana. Foi inaugurada também a rodovia *Monumental*, uma das obras mais importantes da época. Em 1956 a população de *La Habana* era de aproximadamente um 1.400.000 habitantes (Mário González, 1993) e a cidade já estava estruturada como uma grande cidade.

Já no ano 1987 a população de *Ciudad Habana* alcançou os 2.059.223 habitantes, o que significa mais de meio milhão (659 223) de habitantes acima da população existente em 1956.

Existem fatores não físicos que exercem uma profunda influência na ocupação do solo urbano (Grostein, 1987). Esses fatores podem ser de ordem política, cultural, econômica e legal, entre outras.

No caso da cidade de Havana, problemas ligados ao desenvolvimento econômico e político influenciaram no processo de ocupação acelerado, acontecido neste período de quarenta anos na capital.

O plano de 1958, ao qual se fez referência no item 3.1, teve motivações políticas e conseqüentemente mudanças no espaço urbano, ao estabelecer grandes focos urbanos na região central, assim como o incremento de zonas industriais na periferia (municípios de *Cotorro* e *Boyerros*).

O primeiro plano diretor para a cidade, elaborado depois do triunfo da revolução, leva em conta o crescimento demográfico acelerado que se está produzindo e faz um estudo sobre as áreas verdes, qualidade da atmosfera e outros elementos importantes na qualidade de vida da população. Algumas das diretrizes deste plano tiveram muito a ver com as direções principais dos vetores de crescimento nestes anos, e podem ser observados no mapa de dinâmica deste período.

Depois de obtidos os dois mapas de ocupação com os novos valores atribuídos a cada classe, foi subtraída a imagem de 1956 da imagem de 1987, resultando no mapa da dinâmica de ocupação neste período. As áreas com resultado igual a seis, correspondem àquelas que não tiveram mudanças de uma classe para outra, sendo classificadas como estáveis. Áreas com valores maiores que seis correspondem a um avanço no grau de urbanização, com relação ao período anterior. Os locais com valores inferiores a seis foram considerados como áreas de retrocesso ou diminuição do grau de urbanização no processo de ocupação urbana. Na Figura 34, pode-se observar a evolução na ocupação do terreno na província nestes trinta e um anos.

Os "elementos suprimidos" que aparecem no litoral norte da área de estudo surgiram a partir da interpretação das fotografias aéreas de 1956. Tons de cinza muito altos não permitiram delimitar a linha de costa e separá-la do primeiro terraço, sendo então interpretados como "outros elementos", que foram substituídos por outras classes de ocupação na data de 1987.

As áreas de avanço estão localizadas em toda a província. No entanto podem observar-se algumas direções predominantes (a partir do centro antigo da cidade), que

correspondem, principalmente, com as prioridades de desenvolvimento dadas pelos planos diretores de 1958 e 1964. Elas são: sentido sudeste, no entorno da rodovia central (*carretera central*) em direção ao município de Cotorro; parte Leste da província (município Habana del Este); sentido Oeste da província (municípios *Playa* e *Lisa*) e ao longo da rodovia Boyeros (*avenida Boyeros*), em direção ao aeroporto (município Boyeros).

Na área metropolitana localizam-se várias áreas que experimentaram certo (algum) grau de urbanização (avanço médio ou máximo), principalmente no município *Cerro* e *Regla*. Na parte Oeste da baía também houve um avanço no grau de urbanização. No ano 1972 foi firmado um projeto com uma firma inglesa para o desenvolvimento desse porto, explicando esta urbanização.

Municípios que desde o ano 1956 já aparecem como muito urbanizados, evidentemente mantiveram seu alto grau de urbanização e resultaram em áreas estáveis. Outras áreas estáveis que se observam no mapa, principalmente na periferia da área metropolitana, são áreas rurais que não mudaram sua ocupação.

No caso das áreas consideradas neste trabalho como áreas onde houve um retrocesso (máximo ou mínimo), foi necessário fazer uma análise mais cuidadosa dos locais onde isso aconteceu. De forma geral, o processo de urbanização nas cidades é dado pelo adensamento de áreas já urbanizadas ou pela criação de novos espaços, implicando em adensamento urbano.

No item 5.2.3.2 foram ressaltadas as características de um bairro (*Miramar*) que está localizado no município *Playa*. Essa área aparece no mapa da dinâmica como uma área de retrocesso. Na interpretação das fotografias aéreas, as tonalidades e texturas dessa região indicavam um grau de urbanização médio (classe URB), sendo assim classificada. Nos produtos obtidos pelo processamento da imagem SPOT de 1987, as respostas espectrais indicavam a existência de abundante cobertura vegetal, e a região foi classificada como classe PURB. A subtração da imagem de 1956 pela imagem de 1987, resultou numa área com menor grau de urbanização (retrocesso), fato que obviamente não aconteceu. Demonstra-se, assim, o risco de não se ter dados de campo, mesmo fazendo cuidadosa e cognitiva interpretação de imagens. Outras áreas com similar situação estão localizadas nos municípios de *Plaza de la Revolución* e na região norte do município *Arroyo Naranjo*.

Vários dos locais que resultaram em Retrocesso máximo ou Retrocesso mínimo, provavelmente, são devidas às áreas de solo exposto, em loteamentos em fase de construção, e que, posteriormente, em 1987, embora já construídas, aparecem com um baixo grau de urbanização (classe PURB), onde construções ainda esparsas dividem a superfície com gramíneas e vegetação arbustiva.

Uma análise estatística foi feita para cada município, pelo cruzamento do mapa da dinâmica desta data com a imagem dos municípios, que são apresentadas a seguir.

Município/classe	Elementos suprimidos	Retrocesso máximo	Retrocesso médio	Estável	Avanço médio	Avanço máximo	Elementos novos	TOTAL (ha)
Playa	28.56	61.69	1034.94	1632.88	655.94	88.5	37.25	3544.0
Lisa	53.56	0	250.31	2477.19	903.94	15.44	0	3701.31
Boyeros	61.38	9.25	457.19	10294.0	2005.0	32.0	103.44	12964.06
Marianao	79.19	0	163.31	1201.0	760.31	55.06	18.38	2277.25
Plaza Rev.	0.19	0	364.81	713.31	107.38	29.0	0	1215.19
Cerro	0.31	0.25	85.81	518.13	403.44	3.19	0	1011.12
10 de Octubre	0	9.13	320.31	735.75	161.5	0	0	1226.69
Arroyo Naranjo	0.94	22.94	935.06	6472.06	870.75	0	207.75	8510.06
Centro Habana	0	0	4.44	275.5	59.44	1.31	10.19	351.06
Habana Vieja	0.31	0	76.38	339.25	49.5	8.44	7.56	482.38
Regla	71.56	0	106.50	444.38	335.87	22.69	11.44	993.69
San Miguel Padrón	0	8.81	239.50	1685.56	546.69	0	28.37	2508.94
Cotorro	1.75	0	272.31	5458.0	737.37	0.25	96.81	6567.69
Guanabacoa	11.63	0	180.50	11870.94	876.75	0.19	278.5	13219.94
Habana del Este	309.0	0	311.0	11174.56	1931.75	78.88	170.12	13980.31
TOTAL	618.38	112.0625	4802.375	55292.5	10405.62	334.94	969.81	72553.69

Tabela 11. Resultados do cruzamento da imagem da dinâmica de ocupação de 1956 a 1987 com os limites dos municípios. Dados em hectares.

5.2.4.2 Dinâmica de ocupação de 1987 até 1996.

Nos primeiros três anos deste período em Cuba, houve um crescimento muito grande no setor construtivo, motivado pela revitalização do Sistema de Microbrigadas da construção de moradias dos trabalhadores e criação de infra-estruturas nos

municípios da capital do país (construção de consultórios médicos, policlínicas, creches infantis, centros de pesquisa e outros). No ano de 1989 começaram as construções para os jogos Panamericanos de 1990, principalmente no município de *Habana del Este*. Esse fato gerou novos espaços urbanos e o adensamento de alguns bairros. Já nos anos 1990-1991, com a crise econômica que atingiu o país, diminuiu-se consideravelmente esse auge construtivo.

No início do ano de 1996, *Ciudad de La Habana* tinha uma população de 2.184.989 habitantes (tabela 12), o que representa aproximadamente 19% da população do país, fato que corresponde com as previsões do plano diretor da capital, de 1984, que foi de 2.200.000 habitantes para o ano 2000. Essa cifra, segundo esse plano diretor, indica um crescimento geral relativamente baixo, comparado com crescimentos demográficos ocorridos em capitais e principais cidades de países em vias de desenvolvimento. A seguir é apresentada uma tabela com os dados de população entre estas duas datas para os 15 municípios.

MUNICÍPIOS	POPULAÇÃO EM 1987	POPULAÇÃO EM 1995	CRESCIMENTO	% DE CRESCIMENTO
Playa	186.240	191.706	5.466	2,9
La Lisa	106.713	120.544	13.831	12,9
Boyeros	157.685	176.450	18.765	11,9
Marianao	132.530	136.320	3.790	2,8
Plaza	165.837	173.011	7.174	4,3
Cerro	127.046	135.727	8.681	6,8
10 de Octubre	239.915	240.122	207	0,08
Arroyo Naranjo	181.910	191.346	9.436	5,2
Centro Habana	169.282	167.039	-2.243	-1,3
Habana Vieja	101.796	104.771	2.975	2,9
Regla	41.071	42.491	1.420	3,4
San Miguel del Padrón	144.546	153.290	8.744	6,0
Cotorro	60.472	70.473	10.001	16,5
Guanabacoa	97.531	105.040	7.509	7,7
Habana del Este	145.166	176.389	31.223	21,5
TOTAL	2.059 223	2.184 989	125.766	6,1

Tabela 12. Crescimento da população de Ciudad de La Habana de 1987 até 1995. Fonte:

Oficina Nacional de estadísticas. Ciudad da La Habana. 1996.

(-) decrescimento da população.

Nota-se, na tabela, que o município que mais crescimento populacional teve foi *Habana del Este*, fato que não está bem representado no mapa da dinâmica deste período (fig 35) por falta de dados, na faixa litorânea, na imagem de 1996.

Para a avaliação da ocupação neste período, foi executado o mesmo procedimento descrito anteriormente, subtraindo, neste caso, a imagem de 1987 da imagem de 1996, resultando no mapa da dinâmica de ocupação do terreno neste período.

Vários dos locais que aparecem como 'Elementos suprimidos' estão relacionados com represas que foram bem delimitadas nos produtos da imagem SPOT, entanto não apareceram na imagem LANDSAT. Em outros casos foram gerados por áreas de solo exposto em 1987 e que em 1996 passaram a outra classe.

A maioria das manchas azuladas (retrocesso médio) localizadas na região Nordeste da província (município *Habana del Este*), não correspondem com a realidade no processo de ocupação. Este resultado se deve a falta de dados na imagem LANDSAT de 1996, produzindo respostas aparentes nos resultados das operações matemáticas dentro do SIG. O processo de subtração da imagem de 1987 (essas áreas foram classificadas como PURB) da imagem de 1996 (essas áreas foram classificadas como RURAL), resultou em áreas que passaram de um grau de urbanização mais denso a outro menos denso (retrocesso). Os resultados estatísticos neste período analisado estão apresentados a seguir.

Município/classe	Elementos suprimidos	Retrocesso máximo	Retrocesso médio	Estável	Avanço médio	Avanço máximo	Elementos novos	TOTAL (ha)
Playa	42.0	11.06	203.25	1443.94	1721.5	114.88	1.69	3544.0
Lisa	0.44	31.0	266.38	2606.0	789.31	0	6.06	3701.31
Boyerros	49.94	4.31	525.69	10226.31	2128.13	43.75	28.75	13009.56
Marianao	18.5	0	152.88	1391.25	660.63	33.56	20.44	2277.25
Plaza	0.13	0	22.13	712.69	479.56	0	0.25	1215.19
Cerro	0	0	89.94	493.56	417.19	10.44	0	1011.12
10 de Octubre	0	6.63	14.43	648.38	509.0	48.25	0	1226.69
Arroyo Naranjo	0.81	0	240.5	6560.44	1426.94	102.63	109.06	8441.31
Centro Habana	0.06	0	2.0	339.25	9.56	0	0	351.06
Habana Vieja	0.31	0	8.44	342.56	129.81	0	0.38	482.38
Regla	12.06	0	27.13	433.88	518.69	0	0.44	993.69
San Miguel Padron	28.0	0	193.5	1315.56	9.16	0.44	0.12	25.09
Cotorro	97.19	12.0	163.25	5660.31	6.32	0	0.013	65.68
Guanabacoa	242.63	22.75	348.63	11629.75	5.64	0	4.10	132.20
Habana del Este	234.75	7.44	1673.50	11082.19	9.13	0	0.63	139.80
TOTAL	726.81	95.19	3931.63	54886.06	118.16	3.98	6.53	725.30

Tabela 13. Resultados do cruzamento da imagem da dinâmica de ocupação de 1987 a 1996 com os limites dos municípios.

5.2.4.3 Dinâmica de ocupação de 1956 até 1996.

Com o objetivo de visualizar o processo de expansão territorial ocorrido nestes quarenta anos, foram superpostos os planos referentes aos anos de 1956 e 1996, gerando assim um mapa síntese (Fig. 36), onde se podem observar as mudanças e direções do processo de ocupação do território. Esse produto cartográfico foi cruzado com o mapa dos municípios para analisar estatisticamente o comportamento de cada região em relação às categorias relacionadas a cada forma (tipo) de dinâmica ocupacional, as quais estão apresentadas na tabela em baixo.

Município/classe	Elementos suprimidos	Retrocesso máximo	Retrocesso médio	Estável	Avanço médio	Avanço máximo	Elementos novos	TOTAL (ha)
Playa	35.88	21.81	206.56	1766.0	1341.94	171.81	0	3544.0
Lisa	53.81	0	184.13	2353.63	1091.06	13.69	5.0	3701.31
Boyeros	62.44	1.44	350.31	9492.94	2874.88	146.06	81.5	13009.56
Marianao	80.19	0	35.56	1164.5	912.5	63.19	21.31	2277.25
Plaza	0.56	0	0.63	1062.5	110.63	40.88	0	1215.19
Cerro	0.31	0	49.0	417.19	539.63	5.0	0	1011.13
10 de Octubre	0	6.63	82.69	583.13	549.19	5.06	0	1226.69
Arroyo Naranjo	1.13	0	225.19	6734.88	1301.94	0.06	246.88	8510.06
Centro Habana	0.25	0	0.88	276.19	062.31	0.75	10.69	351.06
Habana Vieja	1.19	0	38.31	302.69	124.06	2.69	13.44	482.38
Regla	73.0	0	31.25	335.75	521.75	30.19	1.75	993.69
San Miguel Padron	0	0	147.38	1339.0	984.69	25.5	12.38	2508.94
Cotorro	2.06	0.31	261.06	5133.44	1169.88	0.94	0	6567.69
Guanabacoa	12.94	13.75	126.13	11610.81	1010.31	0.44	445.56	13219.94
Habana del Este	404.69	9.06	728.75	11272.31	1409.88	68.38	87.25	13980.31
TOTAL	728.44	53.0	2467.81	53844.94	14004.63	574.63	925.75	72599.19

Tabela 14. Resultados do cruzamento da imagem da dinâmica de ocupação de 1956 a 1996 com os limites dos municípios.

Com o intuito de se observar separadamente as áreas que aumentaram ou mantiveram um tipo de ocupação durante todo o período analisado, foram analisados independentemente as categorias estáveis, avanço médio e avanço máximo, obtendo-se os resultados apresentados na tabela 15 :

Municípios/classes	Estável		Avanço médio		Avanço máximo		Área total do município (ha)	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Playa	1766	49.83	1341.94	37.87	171.81	4.85	3544	92.54
Lisa	2353.63	63.59	1091.06	29.48	13.69	0.37	3701.31	93.44
Boyerros	9492.94	72.97	2874.89	22.10	146.06	1.12	13009.56	96.19
Marianao	1164.5	51.14	912.5	40.07	63.19	2.77	2277.25	93.98
Plaza	1062.5	87.43	110.63	9.10	40.88	3.36	1215.19	99.90
Cerro	417.19	41.26	539.63	53.37	5	0.49	1011.13	95.12
10 de Octubre	583.13	47.54	549.19	44.77	5.06	0.41	1226.69	92.72
Arroyo Naranjo	6734.88	79.14	1301.94	15.30	0.06	0.001	8510.06	94.44
Centro Habana	276.19	78.67	62.31	17.75	0.75	0.21	351.06	96.64
Habana Vieja	302.69	62.75	124.06	25.72	2.69	0.56	482.38	89.03
Regla	335.75	33.79	521.75	52.51	30.19	3.04	993.69	89.33
San Miguel Padron	1339	53.37	984.69	39.25	25.5	1.02	2508.94	93.63
Cotorro	5133.44	78.16	1169.88	17.81	0.94	0.01	6567.69	95.99
Guanabacoa	11610.81	87.83	1010.31	7.64	0.44	0.003	13219.94	95.47
Habana del Este	11272.31	80.63	1409.88	10.08	68.38	0.49	13980.31	91.20
TOTAL	53844.96	74.17	14004.66	19.29	574.64	0.79	72599.19	94.25

Tabela 15. Resultados estatísticos de áreas estáveis e de avanço para cada município, entre os anos de 1956 e 1996.

A comparação entre as tabelas 12 (comparação dos resultados dos censos de 1987 e 1995) e 15 (resultados estatísticos de crescimento da ocupação urbana, em área e porcentagem da área, entre 1987 e 1996, a partir da interpretação das imagens orbitais) mostra um quadro muito diferente, que é apresentado a seguir.

municípios ordenados por intensidade de avanço máximo da ocupação urbana (em hectares)		Municípios ordenados por crescimento populacional (em habitantes)	
Playa	171,5	Habana Del Este	31.223
Boyeros	146,06	Boyeros	18.765
Habana del Este	68,38	La Lisa	13.831
Marianao	63,19	Cotorro	10.001
Plaza	40,88	Arroyo Naranjo	9.436
Regla	30,19	San Miguel	8.744
San Miguel	25,5	Cerro	8.681
Lisa	13,69	Plaza	7.174
10 de Octubre	5,06	Guanabacóa	7.509
Cerro	5,0	Playa	5.466
Habana Vieja	2,69	Marianao	3.790
Cotorro	0,94	Habana Vieja	2.975
Centro Habana	0,75	Regla	1.420
Guanabacoa	0,44	10 de Octubre	207
Arroyo Naranjo	0,06	Centro Habana	negativo

Tabela 16 - Comparação entre o avanço máximo da urbanização em área (1987-1996), obtido da interpretação das imagens e do crescimento da população (1987-1995), obtido em censo.

Em uma primeira abordagem, a observação da tabela 16 sugere incompatibilidade entre os dados, pois há baixa correlação entre a ordenação dos municípios pelo crescimento da população e da área interpretada como urbana nas imagens orbitais. No entanto há alguns aspectos a considerar e que mudam a questão.

Em 1986, como atrás referido, começou o programa de micro-brigadas para a construção de habitações para a população e a infra-estrutura correspondente (escolas, policlínicas, consultórios de médicos de família, etc), com esta última mais importante do ponto de vista de área construída. Em julho de 1987, quando da obtenção da imagem SPOT, este processo de construção estava em pleno apogeu, com as obras em andamento e, portanto, sem estarem habitadas. Observe-se que a resposta

espectral de uma obra é a mesma, para uma imagem como a SPOT, que a de habitações completas e habitadas. Além deste aspecto geral, recorde-se que os resultados para *Habana del Este* e *Playa* devem ser vistos com pouco rigor, pela ausência de imagem em parte destes municípios, como já discutido anteriormente.

O mapa síntese reflete, de forma geral, o processo de expansão acontecido nestes 40 anos, constatando-se que a ocupação ocorreu, especialmente, em quatro direções predominantes:

Uma direção a Oeste, que começou com a urbanização do Vedado (atual município *Plaza de la Revolución*), *Miramar* e *Playa* (atual município *Playa*) e continuou até o atual município de *La Lisa*;

Uma direção sudoeste, com o eixo principal localizado ao longo da Rodovia *Boyerros* (*avenida Boyeros*), ao que muito contribuiu a implantação do Aeroporto Internacional *José Martí*, localizado no município de *Boyerros*.

Uma direção sudeste, com um eixo principal ao redor da Rodovia Central (*carretera central*), que favoreceu o desenvolvimento urbano dos municípios de *San Miguel del Padrón* e *Cotorro*;

E finalmente, uma direção Leste, induzindo a criação dos bairros *Habana del Este* e *Alamar*, este último criado mais recentemente, ambos pertencentes ao atual município de *Habana del Este*.

Cada uma destas direções principais relaciona-se com diferentes períodos e acontecimentos econômico-sociais acontecidos em Cuba e, de certo modo, na capital do país, períodos comentados anteriormente.

6. CONCLUSÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Dinâmica urbana

Os resultados da pesquisa, feita essencialmente sobre produtos de sensoriamento remoto, complementados pelo curto trabalho de campo realizado, reúne como características principais o baixo custo e informações qualitativas da expressão superficial dos vários tipos de ocupação antrópica do meio físico em “instantâneos” feitos em 1956, 1987 e 1996.

A expansão urbana apresentada para o período 1956-1996, ao mesmo tempo em que mostra a manutenção das tendências gerais de crescimento do tecido urbano desde os tempos coloniais, conforme apresentado na literatura, também reflete claramente várias das ações/obras governamentais feitas no período analisado, as quais terminaram por modificar parte dos vetores de crescimento históricos. Assim, o estabelecimento de tecido urbano ao longo do eixo da rodovia Central (Carretera Central), na direção do Aeroporto Internacional José Martí, na direção Leste e uma direção a Oeste da cidade.

A comparação com dados de censo deve ser feita com cuidado, exigindo a adição de outras informações mais detalhadas, sob risco de passar ao leitor uma impressão equivocada da qualidade dos dados extraídos de produtos de sensoriamento remoto: estes são físicos e refletem a realidade, mas eventualmente não a mesma realidade de um censo. O crescimento do tecido urbano em uma imagem antecede o crescimento populacional, pois um bairro em construção - e sem habitantes - terá comportamento espectral assemelhado a outro já habitado, podendo até sugerir uma ocupação mais densa que a que virá a ter, pois junto com o habitante vem todo um conjunto vegetal (jardins nas casas, árvores nas ruas, estabelecimento de praças etc.) que estará ausente das obras.

A pesquisa evidencia a necessidade de redução dos períodos de coleta de imagens, em se tratando de trabalhos governamentais. Quanto ao tipo de imagem

indicado, as multiespectrais de resolução espacial como as SPOT se mostram bastante adequadas, especialmente pela importante resposta da vegetação no infra-vermelho próximo, que se contrapõe fortemente com as áreas com ocupação urbana, permitindo a execução de índices de vegetação, ferramenta excelente para abordagens pixel a pixel e auxiliando grandemente a interpretação de composições coloridas, a qual, por sua característica cognitiva, é imprescindível. O uso de classificações, supervisionadas ou não, mostrou-se técnica menos adequada e muito mais sujeita a resultados irreais. A substituição por produtos pancromáticos é viável apenas se estes forem de excelente resolução espacial, como fotografias aéreas na escala de 1:10.000, as quais, por outro lado, mostrar-se-iam inadequadas para um estudo regional como o ora apresentado, a não ser que o trabalho seja desenvolvido por uma equipe multidisciplinar.

Ameaças geológicas de Escorregamentos

A abordagem dada às ameaças geológicas no Município de *Habana del Este* enfoca apenas a suscetibilidade dos terrenos a escorregamentos, dentro do conceito de ameaça, ou seja, eventos passíveis de afetar vidas humanas e/ou bens materiais de origem antrópica. Ao estudo feito confere-se uma escala regional, coerentemente com os dados utilizados na pesquisa: declividade, intensidade de urbanização e profundidade e saturação de solos, utilizando-se para estes últimos apenas as classes de solos profundos e muito profundos e medianamente saturados e saturados. Assim, não existe qualquer pretensão em apontar os locais de alto risco, mas as regiões maior ou menor suscetibilidade ao risco. A planta apresentada, entretanto, representa mais que um exercício metodológico em um trabalho acadêmico, pois há muito pouco a respeito para o município abordado. Ao serem cartografadas as regiões de maior suscetibilidade ao risco, abre-se a possibilidade de estudos em detalhe serem executados pelas autoridades em diminutas parcelas daquele município, com rapidez e baixos custos.

A análise da planta de ameaças potenciais a escorregamentos (Fig. 15), permite a identificação de várias regiões que, por sua maior suscetibilidade a escorregamentos merecem atenção do governo municipal, quer por monitoramento dos locais com

ocupação urbana, quer como elemento essencial no planejamento de ocupação futura. No primeiro caso estão localizadas, principalmente, nas regiões de Planaltos tectónico estruturais (Fig.5) que apresentam algum grau de urbanização (manchas azuladas na fig.15) e, para o segundo, as regiões ao sudeste e leste da área de estudo, todavia rurais mas que devem ser evitadas para a construção de moradias, devendo manter seu caráter rural, de preferência com culturas de pequeno porte, com raízes superficiais e desenvolvimento lateral. Em casos extremos, onde à base de vertentes estáveis já existirem moradias, propiciar recobrimento com gramíneas ou certas leguminosas perenes.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHNERT, F. (1987). **An approach to the identification of morphoclimates**. Chichester, John Wiley & Sons. p.159-188.
- ALBEAR, J. F. De.; ITURRALDE-VINENT, M. (1985). Pisos estructurales en el territorio de las provincias de La Habana. In: ITURRALDE-VINENT. **Contribución a la geología de las provincias de La Habana y Ciudad de La Habana**. La Habana, Científico Técnica. 155p.
- ANDERSON, M.G. ; KEMP, M.J.; SHEN, J.M. (1987). On the use of resistance envelopes to identify the controls on slope stability in the tropics. **Earth surface Processes and Landforms**, v. 12, p.637-648.
- AUGUSTO FILHO, O.; CERRI, L E S; AMENOMORI, C. J. (1990). Riscos geológicos: aspectos concetuais. In: SIMPOSIO LATINO AMERICANO SOBRE RISCOS GEOLOGICOS URBANO, 1. São Paulo, 1990. **Anais**. São Paulo, IPT. p. 334-341.
- AUGUSTO FILHO, O. (1992). Escorregamentos em encostas naturais e ocupadas: análise e controle. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNÓLOGICAS. **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo, DIGEM/AGAMA. p.77-100.
- AUGUSTO FILHO, O. (1994). **Cartas de riscos de escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela**. São Paulo, 168p. (Dissertação - Mestrado) - Engenharia Civil, Escola Politecnica, Universidade de São Paulo.
- AYALA-CANCEDO, F.J. (1986). **Mapa predictor de riesgos por expansividad de arcillas España, a escala 1:1.000.000**. Madrid, Instituto Geologico y Minero de España.
- AYALA-CANCEDO, F.J. (1987). **Riesgos geológicos**. Madrid, Instituto Geologico y Minero de España. v.1, 327p.
- BAHMAD, A.; CHARIAI, A; DJERRARI, A ; KOCHRI, A EL; HILALI, EL A; RATZ, D SAQALLI, T; TAMAI, A .L.G (1982). Remote sensing applied to basement tectonic of the calcareus high atlas. **Photogrammetria**, v.37, n. 3-5, p. 131-150.
- BEDELL, R.L. (1994). **GIS for the geosciences-shortcourse**. Sparks, NV, Homestake Mining. 193p.
- BOLT, B.A.; HORN, W.L.; MAC DONAL, G.A.; SCOTT, R.F. (1975). **Hazard from landslides**. Berlin, Geological Hazard. p.10-20
- BONHAM-CARTER, G.F. (1994). **Geographic information system for geoscientists: modelling with G.I.S**. Ottawa, Pergamon. 398p.
- BRAUN, O.P.G. (1982). A structural synthesis of Brazil, based on the study of lineaments derived from remot sensing imagery interpretation. **Photogrammetria**, v.37, n. 3-5, p.77-108.

- BRAYANT, E. (1991). **Land instability as a hazard**. London, Cambridge University Press. p. 236-256.
- BRONNIMANN, P.; RIGASSI-STUDER (1963). Contribution to the geology and paleontology of the area of the city of La Habana, Cuba, and its surroundings. **Eclogae Geologicae Helvetiae**, v.56, p.193-480.
- BURROUGH, P. A. (1986). **Principles of geographical information system for land resources assessment**. Oxford, Clarendon. 191p.
- CARDONA, O.D. (1992). Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. In: CONFERENCIA COLOMBIANA DE GEOLOGIA AMBIENTAL, 2., Colombia, 1992. **Memorias**. p.77.
- CARRARA, A.L.R.; FORESTI, C.; SANTOS, J. R. (1991). A distribuição dos espaços verdes em áreas urbanas: cartografia e análise comparativa entre dados TM/Landsat e HRV/Spot. In: ENCONTRO NACIONAL DE SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AO PLANEJAMENTO MUNICIPAL, 2., Serra Negra, 1991. **Anais**. Serra Negra, INPE. p. 11-22.
- CARRARA, A.L.R.; FORESTI, C. E.; SANTOS, J.R. (1992). Analysis of vegetation indices in urban areas from TM-LANDSAT and HRV-SPOT orbital data. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.29, n.B7, p. 949-956.
- COSTA, S.M.F.da; SILVA E.A. da. (1993). Urbanização da área metropolitana de Belo Horizonte. O monitoramento do crescimento urbano através do SIG/INPE. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., Curitiba, 1993. **Anais**. São José dos Campos, INPE. v.1 p. 41-46.
- CRÓSTA, A. P. (1992). **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. São Paulo, 173P. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de Campinas.
- DE PLOEY, J. (1981). The ambivalent effects of some factors of erosion. **Memoires de L'Institut Geologique de L'Universite de Louvain**, n.3, p. 171-181.
- DE PLOEY, J.; KIRKBY, M.J.; AHNERT, F. (1991). Hillslope erosion by rainstorms, a magnitude frequency analysis. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.16. p.399-409.
- DIAZ, J.L.; MAGAZ, A.; GARCIA, A R M; PERAZA, A P.; ALONSO, O B; SANTANA, J R H (1990). El relieve de Cuba. **Ciencias de la Tierra y del Espacio**, n.18, p. 33-44.
- DOUGLAS, I. (1986). Urban geomorphology. In: **A handbook of engineering geomorphology**. London, Chapman & Hall. p.270-283.
- DRURY, S. A. (1993). **Image interpretation in geology**. London, Chapman & Hall. 283p.
- ELLIS, D. (1989). Risk and assessment. In: _____. **Environment at risk: case histories of impact assessment**. Berlin, Springer-Verlag. p. 3-15.
- FLINT, D. E.; ALBEAR, J. F.; GUILD, P. W. (1948). Geology and chromite deposits of Camagüey district, Camagüey Province, Cuba. **U.S. Geological Survey Bulletin**, v. 954B, p. 39-63.

- FORESTI, C. (1988). Impacto ambiental da expansão urbana no setor oeste da área metropolitana de São Paulo: análise através de dados e técnicas de sensoriamento remoto. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5., Natal, 1988. **Anais**. Natal, INPE. v.1, p. 124-130.
- FOODY, G.M. (1995). Estimation of land coverage from a land cover classification derived from remotely sensed data. **Geo-Journal**, v. 36. n. 4, p. 361-370.
- GONZALEZ, M. (1993). Planos, esquemas y planes directores de la Ciudad de La Habana. Arquitectura y Urbanismo. **Revista Científica del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. La Habana**, n.2, p. 9-22.
- GROSTEIN, M. D. (1987). **A cidade clandestina: os ritos e os mitos. O papel da regularidade na construção do espaço urbano no município e São Paulo (1900-1987)**. São Paulo, 614p. (Tese - Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.
- GRUPO PARA EL DESARROLLO INTEGRAL DE LA CAPITAL. (1990). **Estrategia**. La Habana, Plaza Vieja. p. 1-85.
- HATTEN, C.W. (1958a). **Geology of the central part of the Sierra de los Organos, Province of Pinar del Río**. Manuscrito Fondo Geológico Nacional (inédito).
- HATTEN, C. W.; SCHOOLER, O. E.; GIEDT, N.; MEYERHOFF, A. A (1958b). **Geology of Cuba Central (este de Las Villas, oeste de Camagüey)**. La Habana, Fondo Geológico Nacional (inédito).
- HERMELIN, M. (1990). Geología y medio ambiente en Colombia: un balance. **Revista EAFIT**, n.80, p. 1-10.
- HERMELIN, M. (1993). **Medio ambiente y plan de desarrollo municipal**. PNUD, DHA, UNDRO. p. 11-28.
- ITURRALDE-VINENT, M. (1977). Los movimientos tectónicos de la etapa de desarrollo platáformico en Cuba. **Revista Científico Técnica. Academia de Ciencias de Cuba**, n 20, p. 1-24.
- ITURRALDE-VINENT, M. (1984). **Naturaleza geológica de Cuba**. La Habana, Científico Técnica. 146 p.
- ITURRALDE-VINENT, M. (1985a). Historia geológica del mesozóico de las provincias de La Habana. In:____. **Contribución a la geología de las provincias de La Habana y Ciudad de La Habana**. La Habana, Científico Técnica, p.94-99.
- ITURRALDE-VINENT, M. (1985b). Evaluación ingeniero-geológica del territorio de las provincias de La Habana. In:____. **Contribución a la geología de las provincias de La Habana y Ciudad de La Habana**. La Habana, Científico Técnica, p. 134-150.
- KESSLER, R. (1987). Applicabilities of imagery radar for classification of forest vegetation. **Photogrammetria**, v.41, n.4, p.221-232.

- KOVÁRI, K. (1988). General report: methods of monitoring landslides. In: _____. **Landslides**. Rotterdam, Brookfiel. p.1421-1433. (A.A. Balkema. v.3).
- KURKDJIAN, M.L.O.N.; Li, S.S. (1989) Integração de imagem SPOT multiespectral e aerofoto pancromática para estudo do uso do solo urbano. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 4., Bariloche, 1989. **Memorias**. São José dos Campos, INPE. t.1, p.414-422.
- LO, C.P. (1991) The human population. In: _____. **Applied remote sensing**. New York, Longman. p. 40-70.
- LO, C.P. (1991a). Floodplain delineation and ground-water flow system detection. In: _____. **Applied remote sensing**. New York, Longman. p. 134-137.
- LO, C.P. (1991b). Geographic information system. In: _____. **Applied remote sensing**. New York, Longman. p. 369-387.
- LOLLO, J. de (1996). Levantamento das condições do meio físico urbano através do uso da técnica de avaliação do terreno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., Salvador, 1996. **Boletim de Resumos Expandidos**. Salvador, SBG. v.4, p.190-193.
- LAVANDERO, R. (1989). **Mapa de minerales metálicos y aguas minerales de la República de Cuba**. Cuba, Instituto de Geología y Paleontología/ Ministerio de la Industria Basica. (escala 1: 500.000).
- LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. (1994). **Remote sensing and image interpretation**. 3.ed. New York, John Wiley & Sons. 733 p.
- MACEDO, A. B. (1997). **Reflexões sobre o tratamento de dados geoquímicos**. São Paulo, 151p. (Tese de Livre Docência) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- MEJIA-NAVARRO, M. (1994). Geological hazard, vulnerabilidade and risk assessment using GIS: model for Glenwood Springs, Colorado. **Geomorphology**, v.10, p.331-354.
- MINISTERIO DE LA AGRICULTURA (1987). **Mapa de solos da provincia Ciudad de La Habana, escala 1: 25.000**. La Habana, Ministério de la Agricultura.
- MOEYERSONS, J. (1989). A possible causal relationship between creep and sliding on Rwanda Hill, Southern Rwanda. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.14. p.597-614.
- MOSSAKOVSKY, A. A. (1989). **Mapa tectónico de Cuba**. URSS, Academias de Ciências de Cuba y de la URSS. (escala 1: 500.000).
- NARAYANA, G.S.; LAKSHMAIAH, N.; PRAKASH GOUD, P. V. (1996). Hydrogeomorphological study based on remote sensing of Mulug,Taluk, Warangol District, Andhra Pradesh, India. **Hydrological Science Journal**, v. 41, n.2, p. 137-151.
- NORMAN, S.A.; SCHAEZTL, R.J.; SMALL, T.W. (1995). Effects of slope angle on mass movement by tree uprooting. **International Journal of Pure and Applied Geomorphology**, v.14, n.1, p.19-27.

- OFICINA TERRITORIAL DE ESTADÍSTICAS. DEPARTAMENTO DE DEMOGRAFIA (1996). Población residente al 31/12 clasificada por sexo y grupos de edades por municipios. In: _____. **Informe preliminar del censo de barrios y focos insalubre: año 1996**. Cuba. 43 p. (Relatório Interno)
- OFICINA TERRITORIAL DE ESTADÍSTICAS. DEPARTAMENTO DE DEMOGRAFIA (1996). Hechos vitales demográficos: 1er. semestre de 1996. In: _____. **Informe preliminar: año 1996**. Cuba. 3 p. (Relatório Interno)
- OGURA, A.T. (1994). Análise de riscos geológicos em planos preventivos de defesa civil. In: _____. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS. **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo, ABGE/ IPT. p.203-215.
- OKIDA, R.; VENEZIANI, P. (1994) Caracterização de áreas de riscos associados a escorregamentos e à inundações através de técnicas de Sensoriamento Remoto: uma proposta metodológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., Camboriú, 1994. **Boletim de Resumos Expandidos**. Camboriú, SBG. v.1. p. 451-452.
- PASOTI, P.; CANOBA, C.A. (1982). The pampean plain studied with Landsat images. **Photogrammetria**, v.37, n.3-5, p.109-130.
- PELOGGIA, A. U. G. (1997). **Delineação e aprofundamento temático da geologia do tecnógeno do município de São Paulo**. São Paulo, 167 p. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- PORTELA, A. H.; ARTEAGA, F; DEL BUSTO, R; SAN MARTIN, E; MAGAZ, A; TEJEDA, M.; SECO, R. (1988). **Mapa geomorfológico de las provincias de La Habana y Ciudad de La Habana**. La Habana, IG y ICGC. (escala 1: 250. 000).
- RODRÍGUEZ, J.L. 1987. Riesgos geológicos ligados a arcillas expansivas. In: _____. **Riesgos geológicos**. Madrid, Instituto Geologico y Minero. v.1, 327p.
- SARKAR, A.N.; CHAKRABORTI, D.K. (1982). One orogenic belt or two? A structural interpretation supported by Landsat data products of the precambrian metamorphic of Singhbhum, Eastern India. **Photogrammetria**, v.37, n.3-5, p. 185-201.
- SHARMA, K.D.; SNIGH, S. (1990). Satellite remote sensing for soil erosion modelling using the answer model. **Hydrological Science Journal**, v. 40, n.2, p. 259-272.
- SOETER, R.; VAN WESTER, C.J. (1996). Slope instability recognition, analysis and zonation. In: TURNER, A K ; SCHUSTER, R L (eds.). **Landslides: investigation and mitigation**. Washington, National Academy Press. p.129-177. (Special Report, 247).
- STAR, J.; ESTES, J. (1989). **Geographic information sistem: an introduction**. Santa Barbara, University of California. 297p.
- THIADENS, A. A. (1939). Geologia de la parte sur de la Provincia de Santa Clara. **Boletín de Minas. Direction Montes y Minas de Cuba**, n.18, p.5-56.
- VERSTAPPEN, H. (1987). Remote sensing application of the earth Science: an outlook into the future. **Photogrammetria**, v. 41, n.2, p. 59-71.

- VIERA, I.M.; KURDKDJIAN, M.N.L. (1993). Integração de dados de expansão urbana e dados geotécnicos como subsidio ao estabelecimento de criterios de ocupação em áreas urbanas. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Curitiba, 1993. **Anais**. Curitiba, SBG, v.1, p.163-171
- VOÛTE, C. (1986). Multistage grounwater exploration and satellite remote sensing test area. The basin (Tunish). **Photogrammetria**, v. 40, n. 4, p. 317-326.
- WEBER, C.; HIRSCH J.; SERRADJ. A. (1991). **Classification pixels et classification par zones**: tests sur image SPOT en milieu urbain. Strasbourg, GSTS. p.231-237.
- WELCH, R. (1982). Spacial resolution requirement for urban studies. **International Journal Remote Sensing**, v.3, n.2, p.139-146.
- WOLLE, C.M.; CARVALHO, C.S. (1989). Deslizamentos em encostas na Serra do Mar-Brasil. **Solos e Rochas**, v.12, n. unico, p.27-36.