



João Paulo Guimarães de Mello Alves

**O uso de sistema geográfico de informação na
identificação de áreas aptas para ocupação de acordo
com critérios biofísicos – uma aplicação no bairro de
Vargem Pequena – Rio de Janeiro**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental (opção profissional) pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Luiz Felipe Guanaes Rego

Rio de Janeiro
Novembro de 2012



João Paulo Guimarães de Mello Alves

**O uso de sistema geográfico de informação na
identificação de áreas aptas para ocupação de acordo
com critérios biofísicos – uma aplicação no bairro de
Vargem Pequena – Rio de Janeiro**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental (opção profissional) pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Luiz Felipe Guanaes Rego

Orientador

Departamento de Geografia – PUC-Rio

Prof. Tácio Mauro Pereira de Campos

Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

Prof. Gilson Alexandre Ostwald Pedro da Costa

PUC-Rio

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador Setorial de Pós-Graduação
do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 09 de Novembro de 2012

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

João Paulo Guimarães de Mello Alves

Graduado em Arquitetura pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, em 1979. Pós Graduado em Projetos Urbanos pelo Instituto Metodista Bennet, em 2002. Atua desde 1977 em projetos e no gerenciamento de obras civis. Arquiteto da Secretaria Municipal de Obras da Cidade do Rio de Janeiro desde 2000.

Ficha Catalográfica

Alves, João Paulo Guimarães de Mello

O uso de sistema geográfico de informação na identificação de áreas aptas para ocupação de acordo com critérios biofísicos – uma aplicação no bairro de Vargem Pequena – Rio de Janeiro / João Paulo Guimarães de Mello Alves ; orientador: Luiz Felipe Guanaes Rego. – 2012.

95 f. il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 2012.

Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Espaços livres. 3. Geoprocessamento. 4. Planejamento urbano e ambiental. 5. Tecnologia de projeto. I. Rego, Luiz Felipe Guanaes. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. III. Título.

CDD: 624

Para Vania

Agradecimentos

Agradeço ao Prof. Luiz Felipe Guanaes Rego por sua orientação e amizade.

Gostaria de expressar também reconhecimento e gratidão às Prof.as Ana Luiza Nobre e Raquel Tardin, e aos Profs. Franklin Antunes, Tácio de Campos e Gilson da Costa, pelo incentivo e valiosas contribuições ao estudo.

Obrigado ao Victor Victorio e à equipe do NIMA pelo suporte no GIS.

À PUC-Rio, ao Departamento de Engenharia Civil, e a todos os professores e colegas do curso de mestrado, agradeço o apoio e o longo período de convívio.

Resumo

Alves, João Paulo Guimarães de Mello; Rego, Luiz Felipe Guanaes. **O uso de sistema geográfico de informação na identificação de áreas aptas para ocupação de acordo com critérios biofísicos – uma aplicação no bairro de Vargem Pequena – Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, 2012. 95p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A falta de critérios ambientais na ocupação do território pode trazer danos de longo prazo aos cidadãos e ao patrimônio natural da cidade. O objetivo do trabalho é identificar áreas aptas para ocupação urbana, considerando os aspectos geotécnicos do suporte e aqueles ligados à manutenção dos processos naturais, como base para a gestão e o desenho da cidade. Com o apoio de um sistema geográfico de informação é feita a análise e avaliação dos atributos biofísicos de uma área em processo de expansão urbana, o bairro de Vargem Pequena, na zona oeste da cidade do Rio de Janeiro. No local, uma parte significativa do território é constituída de espaços livres de ocupação. A análise e a avaliação do suporte biofísico estão calcadas em uma proposta metodológica interdisciplinar que reconhece os espaços livres como sistema, com um papel protagonista dentro da estrutura urbana e potencial para ordenar a ocupação do território. O núcleo das informações acerca do suporte biofísico da área é a correlação pedológico-geotécnica feita sobre o levantamento de solos do município. O PEDOGEO contém, além dos dados pedológicos de cada classe de solo, informações gerais sobre as principais características do meio físico. Os elementos definidos para análise são: cobertura; solo; hidrologia; e relevo. As avaliações mostram que a utilização de informações biofísicas é pertinente na caracterização da realidade espacial urbana para os fins propostos, indicando, contudo, ainda pouca disponibilidade de dados, de fontes confiáveis e em escalas adequadas, para este tipo de análise.

Palavras – chave

Espaços livres; geoprocessamento; planejamento urbano e ambiental; tecnologia de projeto.

Extended Abstract

Alves, João Paulo Guimarães de Mello; Rego, Luiz Felipe Guanaes (Advisor). **The use of geographic information systems for identifying suitable areas for occupation in accordance with biophysical criteria - an application in Vargem Pequena neighborhood - Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, 2012, 95p. Master's thesis – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This thesis deals with the analysis of the biophysical characteristics of areas in urban expansion process with the support of a geographic information system. We highlight the importance of studying the physical reality of territories for urban development in line with environmental values and sustainability principles.

The objective of this work was the development of a synthesis map that can determine—through gradation values and within established criteria—suitable areas for occupation that do not conflict with the continuity of the natural processes of the territories. To this end, we propose to analyze and evaluate the biophysical attributes of an area in the City of Rio de Janeiro. In this location, within the urban structure, there are spaces that can be characterized as free of occupation, whether in the form of urban infrastructure, roads or buildings. From available data, the use of geo-processing resources in the characterization of urban space reality will be assessed in order to elaborate a basis for management and design of the city.

The growth dynamics of a city like Rio de Janeiro does not often comply with the most well-intentioned plans. When cities grow without any planning, it is very common to observe the occurrence of events that cause direct damage to the population, such as landslides and floods. In other occasions, the plans ignore the basic reality of the territory by not considering in depth the potential impact of their deployment. In both cases, the lack of consistent and accessible information on the physical characteristics of the territory results in failing to apply environmental criteria in the process of occupation. This makes the population

vulnerable and can cause long-term damage to the environmental heritage of the city.

Although environmental sustainability issues are related to almost any kind of human activity, it is in the cities where they occur in a more evident way. While these issues have grown in scale in recent decades and their solutions have become more and more urgent, the search for integration and balance between the natural and urban environments has definitely been incorporated to urban thinking.

Information processing techniques that have emerged with the development of computational systems led to the development of tools such as the Geographic Information System and the Computer Aided Design, which represent a new milestone in the understanding of the physical world, which is necessary to deal with urban and environmental issues within the scale they are placed nowadays.

Authors, who deal with the topic of environmental spatial analysis from several approaches, provide the basis of the theoretical foundation of this work. The urban approach regards concepts linked to ecological urbanism and, in this context, the role of the system of open spaces in the urban structure. Concepts relating to biophysical support are reviewed, in an approach to the elements found in the area of study, especially those related to analysis and evaluation. In the case of geographical information systems, we make a summary of their peculiarities, main functions and foundations, and their application in the analysis of the territory.

The analysis and evaluation of biophysical support are based on an interdisciplinary methodological proposal of the System of Open Spaces and the Territorial Project. These recognize the free spaces as systems, with a protagonist role within the urban structure and potentialities for territory restructuring. At the same time, they consider the guidance of a future occupation which does not conflict with the maintenance of natural support processes.

In the adaptation of the original methodology for the purposes of this thesis, we considered that some criteria and conditions used for the definition of

the areas that must be kept free of occupation, within the concept of open spaces system, could also define, in counterpoint, the spaces with better potential for occupation. In this way, the best evaluated areas in this study, from their biophysical characteristics, would be those whose urban occupation would avoid damage to ecosystems, contributing to the maintenance or recovery of the open spaces system.

The area of study is defined by the administrative boundaries of Vargem Pequena neighborhood, located in the west zone of the City of Rio de Janeiro, with a total area of 1,443.83 ha. The neighborhood occupies a stretch of the Baixada de Jacarépaguá plain and part of the southern slope of the Maciço da Pedra Branca, which is an important area of environmental protection. The area can be considered one of the city's growth boundaries, limited by natural and urban environments, threatened by a series of unmanageability in its occupation process. In Vargem Pequena, the occupation is characterized by farms and low density residential urbanization of middle and upper-middle classes, also with the occurrence of irregular settlements and slums. The bucolic surroundings and proximity of nature attracts real estate investments with a trend to slopes occupancy. The open spaces lose their original identity, becoming isolated spaces without an effective participation in urban conformation. They are environmentally protected, but threatened by the urban pressure and a rapid process of dismantling with higher occupation of the plain and slopes.

The main source of specific data used in the analysis of biophysical support is the PEDOGEO of Vargem Pequena. It is a geo-referenced digital map containing the classification of soils within the administrative boundaries of the neighborhood. The basis of its contents is the soil survey of the City of Rio de Janeiro, which began in the 1960s, in the former State of Guanabara, and was revised and supplemented up to 2009. Another essential source of information is the work carried out by specialists, dealing with the relationship between pedology and geotechnics. The biophysical attributes analyzed were: vegetation; soil; relief; and hydrology.

In the research, we used data available and already converted to the Geographic Information System environment, enabling their immediate

application. In the organization of information plans, analysis and generation of maps, we used the ArcGIS Desktop 10, ESRI, application package. In the complementation of planimetric information, we used the AutoCAD 2012, Autodesk, application. The geo-processing followed the current methodology in this environment, consisting basically of two steps: construction of a geo-referenced database; and spatial analyses and evaluations for the objective set.

Structure of the geo-referenced database

- a) Scale of final product: 1:2000
- b) Projection: UTM (Universal Transverse Mercator)
- c) Datum: SAD 69
- d) Resolution: 1 m
- e) Information plans: coverage, soil, declivity, water bodies

Procedures adopted in the construction of the geo-referenced database:

1. Collection of data and materials
2. Data conversion
3. Classification of coverage from images interpretation techniques
4. Creation of the digital terrain model
5. Classification of hillsides and declivity layer generation

Procedures adopted in the analyses and spatial assessments:

1. Definition of the variables values
2. Operation between matrices
3. Final classification

Information plans were created with the cropping of the area defined by the boundaries of the neighborhood. The *coverage map* was done with image interpretation techniques applied to orthorectified aerial images taken in 2009. The map represents the neighborhood surface through the following layers: vegetation; exposed soil; rocks; and urbanized area. The vegetation is classified on the basis of the criteria for analysis of the elements that constitute the system

of open spaces, as a mosaic of ecosystems of different scales, considering their internal relationships and those with the surroundings. The urbanized area is divided into built, paved and public spaces. In the *soil map*, there is information available in the PEDOGEO regarding the pedological and geotechnical characteristics of each type of soil, in addition to data on the physical environment in which they are inserted. The *declivity map*, generated from the digital elevation model, and the map of *water bodies*, derive from the digital cartography of the city. The map records: the quota of altitude of the terrain through isograms every 1 m; and the existing water courses through polylines. Areas situated above 100 m altitude, which are part of the SPECIAL ZONE 1 for the preservation of the city, and areas with declivity greater than 30%, or situated at 30 m from the banks of rivers, which form part of Permanent Protection Areas, protected by federal laws, are classified as areas of legal constraint for occupation.

After the variables of each information plan were mapped, they were rasterized and reclassified, assigning the same value for each variable. According to the biophysical criteria set and the help of experts who knew the phenomena and situations assessed, we assigned grades 1 to 10 to each variable, from the smallest to the largest suitability of each area for occupation. We assigned grade zero to not classified areas: due to the lack of information; constituting legal restriction areas; or because they had already been urbanized. The matrices were then combined algebraically, resulting in the evaluation map, whose chromatic gradient reflects the degree of suitability for occupation, according to the criteria defined.

The map produced with geo-processing resources shows that the biophysical criteria used are relevant in the characterization of the urban space reality for the management and design of the city. The work scale and the classification process of coverage allowed tracing a considerably updated and accurate picture of the urbanized area and the free spaces existing in the neighborhood. However, the final map has some inconsistencies, in part due to the lack of more precise information. The methodology used is simple and could be improved in future works, for example, by applying a mathematical logic more suited to environmental complexity, as the Weighted Average or Fuzzy logic. At

the same time, the field biophysical information would be supplemented with the help of experts.

Although the theoretical framework of ecological urbanism and technical data surveys on the environment have progressed in the last few decades, the objective information available in this area is still restricted. At first, the immediate experience could lead to the conclusion that this lack occurs more sharply in countries with many problems to face in the direction of effective development. However, according to the point of view of current authors in the field of geo-processing, it is possible to observe that worldwide research on the environment is just starting. In countries with environmental heritage—like for example in Brazil—there is a great need for appropriate surveys and processing of information about natural environments.

It is expected that this work will contribute, albeit to a limited extent, with the practice of environmental analysis as a preliminary step for planning and the elaboration of urban projects. At the same time, it will contribute to the use of the Geographic Information System, at the level of users, as a current tool for professionals in the field, as for example the Computer Aided Design, whose use has been consolidated for a long time.

Keywords

Open spaces; geo-processing; urban and environmental planning; project technology.

Sumário

1. Introdução	17
2. Conceitos preliminares	22
2.1. Meio ambiente e planejamento urbano	23
2.2 Sistema de espaços livres	27
2.3 Suporte biofísico	35
2.3.1 Vegetação	35
2.3.2 Relevo	37
2.3.3 Solo	39
2.3.4 Hidrologia	42
2.3.5 Áreas de Proteção	43
2.4 Potencial do GIS para o estudo do território	44
3. Metodologia	54
3.1 Materiais e procedimentos	55
3.2 Caracterização da área de estudo	57
4. Análise e avaliação do suporte biofísico com o uso de GIS	63
4.1 Construção da base de dados georreferenciada	64
4.1.1 Conversão de dados	64
4.1.2 Classificação da cobertura com técnicas de interpretação de imagem	64
4.1.3 Criação do modelo digital e classificação das vertentes	68
4.2 Análises e avaliações espaciais	73
4.2.1. Definição dos valores das variáveis	73
4.2.1.1 Cobertura	73
4.2.1.2 Declividade	74
4.2.1.3 Solo	74
4.2.1.4 Corpos hídricos	78
4.2.2 Operação entre matrizes	79
5. Síntese da avaliação	80
6. Conclusão	88
7. Referências Bibliográficas	90

Lista de figuras

Figura 1 – Planta esquemática do Plano para The Valleys, de Wallace, McHarg, Roberts & Todd, 1964	25
Figura 2 – Planejamento paisagístico da cidade de Boston 1887	28
Figura 3 - Plantas esquemáticas das cidades jardim de Ebenezer Howard, 1902, e do <i>Copenhagen Finger Plan</i> , 1947	29
Figura 4 – Planos de informações em um GIS	47
Figura 5 –Paradigma dos quatro universos	48
Figura 6 –Representação Vetorial e representação Matricial	49
Figura 7 – Coincidência espacial – estudo e sobreposição de planos de informação em um GIS	51
Figura 8 - Operações de transformação no GIS	52
Figura 9 - Grid de imagens aéreas ortorretificadas de Vargem Pequena na escala 1:2.000	56
Figura 10 - Localização do bairro de Vargem Pequena sobre imagem de satélite	58
Figura 11 – Trecho do desenho original do Plano Piloto da Barra sobre imagem de satélite	62
Figura 12 - Mapa de classificação de cobertura	66
Figura 13 – Mapa de espaços livres e áreas de proteção	67
Figura 14 - Mapa do modelo digital de elevação	69
Figura 15 - Mapa de declividades	71
Figura 16 - Escala de conversão de vertentes	72
Figura 17 - Mapa de solos (PEDOGEO) e corpos hídricos	77
Figura 18 – Mapa de áreas aptas para ocupação em Vargem Pequena	81
Figura 19 – Espaço livre no centro do bairro de Vargem Pequena	85
Figura 20 – Espaço livre e Rio Cancela em Vargem Pequena	86
Figura 21 - Espaço livre e Maciço da Pedra Branca em Vargem Pequena	86

Lista de Quadros

Quadro 1 - Avaliação da cobertura.	74
Quadro 2 -. Avaliação do solo	76
Quadro 3 - Avaliação final	82

Todos los métodos son, pues, posibles gracias a un método primario, al método cuyo resultado no es tanto conocer lo que las cosas son, sino ponernos las cosas delante de los ojos.

Xavier Zubiri

1.

Introdução

Esta dissertação trata da análise das características biofísicas de áreas em processo de expansão urbana com o apoio de um sistema geográfico de informação. Reforça-se a importância do estudo da realidade física do território para um desenvolvimento urbano compatível com os valores ambientais e os princípios da sustentabilidade.

O objetivo do trabalho é a elaboração de um mapa síntese que possa determinar, a partir de uma gradação de valores e dentro de critérios estabelecidos, as áreas propícias para uma ocupação não conflitante com a continuidade dos processos naturais do território. Para tanto, propõe-se analisar e avaliar os atributos biofísicos de uma área do Município do Rio de Janeiro. No local, ao lado da estrutura urbana, coexistem espaços que podem ser caracterizados como livres de ocupação, seja na forma de infraestrutura urbana, sistema viário ou edificações. Verificar-se-á a utilização de recursos de geoprocessamento na caracterização da realidade espacial urbana, manuseando os dados disponíveis para a elaboração de uma base para gestão e desenho da cidade.

A dinâmica de crescimento de uma cidade como a do Rio de Janeiro muitas vezes escapa aos planos mais bem intencionados. Em situações em que a cidade cresce sem nenhum planejamento, é comum a ocorrência de eventos que causam prejuízos diretos à população, como deslizamentos de terras e inundações. Outras vezes, os próprios planos ignoram a realidade básica do território, não considerando em profundidade o impacto potencial de sua implantação. Em ambos os casos, a ausência de informações consistentes e acessíveis, acerca das características físicas do território, resulta na falta da aplicação de critérios

ambientais no processo de ocupação. Isto torna a população vulnerável e pode ocasionar danos de longo prazo ao patrimônio ambiental da cidade.

Embora as questões ligadas à sustentabilidade ambiental estejam relacionadas a quase todo tipo de atividade humana, é nas cidades onde elas se manifestam de forma mais evidente. Ao mesmo tempo em que tais questões cresceram de escala nas últimas décadas, tornando-se as suas soluções cada vez mais urgentes, a busca de integração e equilíbrio entre os ambientes natural e urbano incorporou-se definitivamente ao pensamento urbanístico.

A área de estudo é definida pelos limites administrativos do bairro de Vargem Pequena, na zona oeste da cidade do Rio de Janeiro, com área total de 1.443,83 ha. O bairro ocupa um trecho de planície da Baixada de Jacarépaguá e parte da encosta sul do Maciço da Pedra Branca, uma importante área de proteção ambiental. A área pode ser considerada como uma das fronteiras de crescimento da cidade, limite entre os ambientes natural e urbano, ameaçada por uma série de descontroles em seu processo de ocupação. Em Vargem Pequena, a ocupação é caracterizada por sítios e urbanizações residenciais de baixa densidade de classe média e média alta, também com a ocorrência de favelas e loteamentos irregulares. O entorno bucólico e a proximidade da natureza atraem investimentos imobiliários que apontam uma tendência de ocupação das encostas. Os espaços livres perdem sua identidade original, transformando-se em espaços isolados sem participação efetiva na conformação urbana. Eles são protegidos ambientalmente, mas ameaçados pela pressão urbana e em rápido processo de desmantelamento com a ocupação mais acentuada da planície e das encostas.

O eixo conceitual e metodológico para a análise e avaliação das informações sobre o suporte biofísico é o método interdisciplinar proposto por Raquel Tardin (2008), que reconhece os espaços livres como sistema, cuja ordenação pode propiciar diretrizes para a reestruturação do território e orientar uma futura ocupação. Neste contexto, um espaço livre de ocupação não constitui uma área obsoleta ou sem função. Possui características e valores com o mesmo nível de importância de outras áreas que integram a estrutura urbana do espaço ocupado, e pode desempenhar um papel protagonista no processo de planejamento.

Na adaptação da metodologia original para os objetivos da dissertação, a premissa é que alguns dos critérios e condicionantes utilizados para a definição das áreas que devem ser mantidas livres de ocupação, dentro do conceito de Sistema de Espaços Livres e Projeto Territorial, podem também definir, em contraponto, os espaços com melhor potencial para a ocupação. Desta forma, as áreas melhor avaliadas neste estudo a partir de suas características biofísicas, são aquelas cuja ocupação urbana evita o dano aos ecossistemas, contribuindo para a manutenção ou recomposição do sistema de espaços livres. Duas outras adaptações necessárias para o âmbito desta dissertação referem-se: à utilização de um Sistema Geográfico de Informação como suporte para a elaboração dos mapas de análise e avaliação; e à escala utilizada no trabalho, que aqui possui um nível maior de detalhamento em função da menor dimensão da área estudada.

A exemplo do *Computer Aided Design* (CAD), o *Geographic Information System* (GIS) é uma ferramenta de extrema utilidade, mas que apenas recebe e processa informações¹. Além da existência de dados consistentes e em condições de serem processados é necessário haver uma base teórica e uma estrutura metodológica para que a ferramenta possa ser útil na busca de soluções às questões colocadas. Quais áreas podem receber ocupação? Como se descobre isso? A construção metodológica do trabalho está voltada à solução destas questões.

O primeiro passo da metodologia adotada é a construção de um banco de dados com as variáveis necessárias para a elaboração de mapas e tabelas de avaliação do suporte biofísico. Em seguida procurar estabelecer, a partir do cruzamento dos dados obtidos e dos critérios adotados, as áreas aptas e não aptas para a ocupação. Para que o resultado não fique restrito a esta dicotomia e possa refletir melhor a complexidade que envolve os ambientes natural e urbano, considera-se a possibilidade de uma gradação entre os dois extremos, que represente áreas cuja ocupação esteja condicionada a determinadas premissas. A pesquisa verifica a pertinência dos dados definidos para a avaliação biofísica e em

¹ A comparação parte apenas da constatação de que o CAD é uma ferramenta cujo uso é mais disseminado entre os profissionais de projeto e planejamento. Ressalta-se a diferença fundamental de finalidades entre os dois *softwares*, que será abordada no Capítulo 2.

que medida seu cruzamento é capaz de integrar os diversos elementos para a compreensão do sistema.

Os atributos biofísicos definidos para a análise são: solo; vegetação; hidrologia; e relevo. Os dados utilizados já existem convertidos para ambiente GIS, e se encontram disponíveis no banco de dados do NIMA/PUC-Rio², viabilizando sua imediata aplicação na pesquisa sem maior dispêndio de recursos e tempo.

Autores que tocam o tema da análise espacial ambiental, a partir de diversos enfoques, fornecem a base da fundamentação teórica do trabalho. Na abordagem urbanística são referências: Lynch (1997); McHarg (2000); Spirn (1995); e Tardin (2008), entre outros. Na parte referente às principais funções e fundamentos dos sistemas geográficos de informações e do geoprocessamento em geral, encontram-se: Lillesand & Kiefer (2000); Moura (2005); Rego (2003, 2007); Stillwell et al. (1999); e Câmara (2001), entre outros.

A principal fonte dos dados específicos utilizados na análise do suporte biofísico é o PEDOGEO de Vargem Pequena. Trata-se de um mapa digital georreferenciado contendo a classificação dos solos dentro dos limites administrativos do bairro. A base de seu conteúdo é o levantamento dos solos do Município do Rio de Janeiro que teve início na década de 1960 no antigo Estado da Guanabara. O levantamento foi publicado pela Embrapa em 1980, e foi revisto e complementado até 2009, com a contribuição de vários especialistas. Outra fonte fundamental de informações é a correlação entre a pedologia e a geotecnia desenvolvida por Antunes et al. (2012), e outros.

A dissertação está organizada em seis capítulos. Após esta introdução o capítulo seguinte aborda conceitos ligados à abordagem urbanística ecológica do território e, neste contexto, do papel do sistema de espaços livres na estrutura urbana. No mesmo capítulo são revistos conceitos relativos ao suporte biofísico, numa primeira aproximação aos elementos encontrados na área de estudo. Fechando o capítulo é apresentado um breve resumo das particularidades dos Sistemas Geográficos de Informações e suas aplicações na análise do território.

² Núcleo Interdisciplinar de Meio Ambiente da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O capítulo três resume os procedimentos para a análise e avaliação do suporte biofísico, e descreve as características principais da área de estudo. Embora o capítulo seja especificamente dedicado à metodologia, é considerado mais proveitoso para a estrutura do trabalho que a descrição detalhada das etapas se dê passo a passo com o seu desenvolvimento, nos capítulos seguintes.

No capítulo quatro são feitas as análises e avaliações espaciais visando a elaboração de um mapa representando as áreas aptas para ocupação em Vargem Pequena, de acordo com os critérios definidos. O capítulo cinco traz a síntese da avaliação e observações gerais sobre os resultados obtidos.

No capítulo 7 é apresentada a conclusão.

2.

Conceitos preliminares

Um dos requisitos do trabalho em um Sistema Geográfico de Informação é a existência de uma pergunta espacial relacionada ao espaço geográfico. Sua formulação requer um contexto de investigação e uma base teórica que direcione os recursos do sistema. A pergunta espacial que se quer responder é: quais são as áreas que podem ser ocupadas no bairro de Vargem Pequena? Uma questão subjacente seria: a partir de que critérios?

Para o entendimento dos processos de construção da estrutura de conhecimento a partir da qual se pretende reconhecer e interpretar a realidade física da área de estudo, será feita uma breve abordagem de conceitos ambientais ligados ao planejamento urbano.

Autores que tratam o tema da análise espacial ambiental, a partir de diversos enfoques, fornecem a base da fundamentação teórica deste trabalho. Na abordagem urbanística são estudados conceitos ligados ao urbanismo ecológico e, neste contexto, ao papel do sistema de espaços livres na estrutura urbana. São revistos conceitos relativos ao suporte biofísico, numa aproximação aos elementos encontrados na área de estudo, especialmente aqueles relacionados à análise e avaliação.

Posteriormente serão estudadas características gerais envolvidas no geoprocessamento, mais particularmente serão abordados os sistemas geográficos de informação e os recursos que estes oferecem para o tratamento de dados ambientais.

2.1 Meio ambiente e planejamento urbano

Embora as questões ligadas à sustentabilidade ambiental estejam relacionadas a quase todo tipo de atividade humana, é nas cidades onde elas se manifestam de forma mais evidente. Ao mesmo tempo em que tais questões tornaram-se mais urgentes nas últimas décadas, a busca de integração e equilíbrio entre os ambientes natural e urbano incorporou-se definitivamente ao pensamento urbanístico.

A relação delicada entre os sistemas urbanos e os ecossistemas torna ambos vulneráveis. Se por um lado, esses ecossistemas parecem vulneráveis ante o impacto do desenvolvimento das sociedades urbanas. Por outro, a cidade é vulnerável perante a crise de seu ambiente natural, que implica no esgotamento dos recursos e na alteração das condições para a reprodução das próprias sociedades urbanas (Mela, 1999).

O desenvolvimento e aprimoramento da tecnologia nas últimas décadas e as urgentes questões ligadas à finitude dos recursos naturais trouxeram inúmeras alterações no comércio, na ética e na prática empresarial. A crescente e feroz competitividade em busca de mercados levou à exploração sistemática de oportunidades de mudança e inovação (Drucker, 2002).

A abordagem ecológica no urbanismo não é nova, funda-se em uma tradição de conceitos e princípios básicos da relação entre os organismos vivos e o ambiente natural. O urbanismo ecológico tem um papel crucial para o futuro das cidades, na construção de estruturas capazes de fazer frente às mudanças no meio ambiente que podem representar uma ameaça para a humanidade. Das cidades coloniais planejadas da Grécia Antiga às propostas dos pré-urbanistas utópicos no início da sociedade industrial, havia a percepção da necessidade de equilíbrio entre as variáveis de população e recursos naturais. Atualmente, a escala global em que estas questões se manifestam propiciou um salto na necessidade desse equilíbrio, o que antes poderia representar uma ameaça para uma região ou uma determinada sociedade alcança uma dimensão capaz de afetar a vida em todo o planeta (Spirn, 1995).

Na década de 1960 a tomada de consciência ambiental a nível mundial levou ao público em geral, graças a muitos trabalhos publicados em diversas áreas, um debate até então restrito a especialistas, ampliando o alcance dos conceitos relacionados ao meio ambiente e às cidades. O sistema de espaços livres e seu papel no projeto territorial têm suscitado muitos e distintos enfoques. Entre os que partem de premissas ecológicas e valorizam os atributos biofísicos dos espaços e a manutenção dos processos naturais, são consideradas referências os trabalhos de McHarg (2000) e Hough (1995); entre outros. Na mesma medida, no campo sócio cultural, são referências Lynch (1997); Spirn (1995); e Roger (2001); entre outros (Tardin, 2008).

A explosão no crescimento das cidades na década de 1970 teve impactos em diversas instâncias - a perda da qualidade de vida nos centros urbanos, a tendência geral à degradação dos espaços livres e o crescimento intenso e descontrolado que resultou na dispersão urbana pelo território. As reações a estes fatos tiveram início ainda nos anos sessenta, com trabalhos orientados para a qualidade de vida coletiva nos espaços livres públicos urbanos e a valorização da paisagem.

Spirn (1995) considera que Kevin Lynch (1997) e Ian McHarg (2000) são figuras seminais em seus respectivos campos de projeto urbano e arquitetura da paisagem/planejamento territorial. Ambos compartilhavam a convicção de que a cidade deve ser entendida a partir de seu contexto regional e que o ambiente natural contém um valor social que deve ser cultivado no projeto urbano

As imagens ambientais são o resultado da interação entre o observador e o ambiente. O ambiente sugere especificidades e relações e o observador, à luz de seus objetivos, seleciona, organiza e confere significado aquilo que vê. A imagem urbana deve ser entendida como um campo total, sua percepção é um fenômeno temporal voltado para um objeto de enormes dimensões. Se o ambiente deve ser percebido como um todo orgânico, a clarificação das partes em seu contexto imediato representa apenas um primeiro passo (Lynch, 1997).

A natureza é um conjunto de processos e valores que implicam oportunidades e limitações para o uso humano. Para seu entendimento devemos procurar identificar os processos que contribuíram para a formação do lugar e que

ainda seguem atuando ali, compilar os dados e representá-los num mapa. Estes dados adquirem significado na medida em que forem interpretados e avaliados dentro de um sistema de valores (McHarg, 2000).

Na proposta do plano elaborado em 1964 para a área denominada *The Valleys* (**Figura 1**), na área metropolitana de Baltimore, é possível encontrar um paradigma de abordagem do planejamento ecológico, ainda válido para muitas áreas em processo de expansão urbana:

A área é bela e vulnerável;
 A urbanização é inevitável e deve ser atendida;
 O crescimento sem controle resulta inevitavelmente destrutivo;
 A adoção de princípios de conservação pode evitar a destruição e assegurar a melhora dos aspectos positivos;
 A zona pode absorver o crescimento previsto sem destruição;
 O crescimento planejado é melhor que o descontrolado, além de mais rentável;
 Os poderes públicos e privados podem trabalhar conjuntamente na aplicação do plano (McHarg, 2000, p.82)³.



Figura 1 – Planta esquemática do Plano para *The Valleys*, de Wallace, McHarg, Roberts & Todd, de 1964⁴.

McHarg (2000) propõe que a investigação se inicie pelos dados mais antigos disponíveis sobre a área, até chegar ao momento atual. Segundo seu

³ Original em espanhol.

⁴ Fonte: <http://www.wrtdesign.com/projects/detail/plan-for-the-valleys/134>, 2012.

método de representação do espaço por camadas (*layer cake*), deve-se começar pela formação geológica do lugar, estudando depois: as condições meteorológicas; as condições hidrológicas subterrâneas; a geografia física; a hidrologia de superfície; os solos; a vegetação; e a vida animal, culminando com o uso do solo. Este tipo de representação facilita uma explicação provisória e probabilística da área de estudo, de modo que cada camada depende das características das inferiores, resultando no modelo descritivo biofísico. Este modelo permite concluir quais zonas resultam mais adequadas para um determinado uso e quais apresentam maiores restrições.

Cabe registrar a semelhança com os planos de informação em um GIS⁵, mas quando o método de McHarg foi introduzido, na década de 1960 com o uso de transparências, o *software* era uma ferramenta ainda incipiente e restrita ao uso militar.

Essa abordagem no planejamento daria lugar a instrumentos legislativos ambientais nos Estados Unidos e no mundo - como o Estudo de Impacto Ambiental - constituindo a base do planejamento ambiental, uma das premissas para um desenvolvimento urbano compatível com as metas da sustentabilidade.

Seguindo a tradição entre os urbanistas de desenvolverem conjuntos de valores característicos da cidade que preconizam, Rogers (2001) enumerou princípios aplicados ao contexto urbano que sintetizam a cidade sustentável:

Justa: onde justiça, alimentação, abrigo, educação, saúde e esperança sejam distribuídos de forma justa e onde todas as pessoas participem da administração.

Bonita: onde arte, arquitetura e paisagem incendeiem a imaginação e toquem o espírito.

Criativa: onde uma visão aberta e a experimentação mobilizem todo o seu potencial de recursos humanos e permitam uma rápida resposta à mudança.

Ecológica: que minimize seu impacto ecológico, onde a paisagem e a área construída estejam equilibradas e onde os edifícios e a infraestrutura sejam seguros e eficientes em termos de recursos.

Fácil: onde o âmbito público encoraja a comunidade à mobilidade, e onde a informação seja trocada tanto pessoalmente quanto eletronicamente.

Compacta e policêntrica: que proteja a área rural, concentre e integre comunidades nos bairros e maximize a proximidade.

Diversificada: onde uma ampla gama de atividades diferentes gerem vitalidade, inspiração e acalentem uma vida pública essencial.

⁵ Seção 2.4.

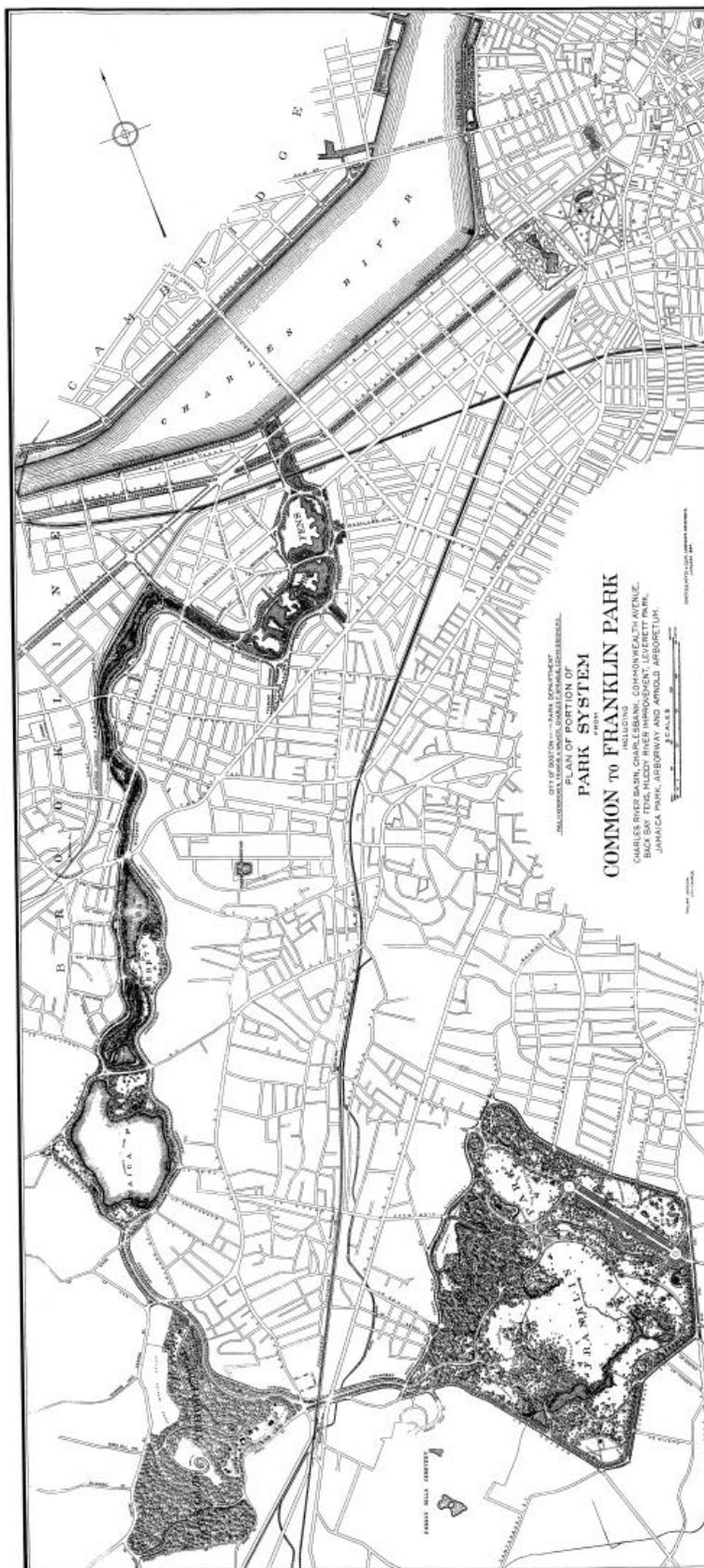
2.2 Sistema de espaços livres

A análise e a avaliação do suporte biofísico estão calcadas em uma proposta metodológica interdisciplinar do Sistema de Espaços Livres e do Projeto Territorial proposto por Tardin (2008), que reconhece os espaços livres como sistemas, com um papel protagonista dentro da estrutura urbana e potencial para a reestruturação do território. Não é possível abarcar aqui a complexidade do tema em sua profundidade. A abordagem será, portanto, limitada a aspectos considerados mais diretamente relacionados ao tema da dissertação. Serão revistos alguns conceitos básicos que permitam fundamentar uma experiência prática de utilização do GIS na análise de apenas um dos aspectos contemplados na metodologia original: os atributos do suporte biofísico.

Os limites urbanos atuais tendem a avançar sobre os espaços livres do território de forma fragmentada, com assentamentos dispersos confundindo-se a áreas naturais e rurais. Entre os muitos reflexos negativos da expansão desordenada para o meio ambiente, estão o alto grau de impermeabilização do solo, um sistema viário potencializado e um elevado consumo de energia, fatores que poderiam ser evitados, ou amenizados, com uma ocupação mais concentrada, que favoreça o aproveitamento das estruturas urbanas já existentes.

Muitos dos primeiros planos metropolitanos e regionais no século XIX foram desenvolvidos para sistemas de parques, que integravam recreação, transporte, drenagem de águas pluviais e gestão de águas residuais, criando um quadro propício para o desenvolvimento urbano (Spirn, 2011).

Segundo Tardin (2008), o conceito de sistema de espaços livres como diretriz da ordenação do território surgiu no planejamento paisagístico da cidade de Boston por Frederick Law Olmsted, em 1887. Olmsted projetou uma série de parques – um conjunto depois denominado *Emerald Necklace* - conectados por vias inseridas na paisagem (*parkways*), procurando integrar cidade e campo num só desenho (**Figura 2**). No início do século XX o mesmo conceito seria aplicado com sucesso no planejamento de cidades como Chicago e Nova Iorque.



OLMSTED ARCHIVES

National Park Service - Frederick Law Olmsted National Historic Site

90 Warren Street - Boston, Massachusetts 02146

Figura 2- Planejamento paisagístico da cidade de Boston, de 1887⁶.

⁶ Fonte: <http://www.emeraldnecklace.org>, 2012.

Tardin (2008) destaca a importância estratégica do sistema de espaços livres nos planos traçados no século XX, e como os modelos urbanísticos incorporaram, com enfoques diferenciados, o princípio de integração entre estrato construído e estrato livre na ordenação urbana. Entre os marcos desta evolução estão: as cidades jardim de Ebenezer Howard, em 1902; o urbanismo proposto por Le Corbusier no Movimento Moderno - no Rio de Janeiro, em 1929, *Ville Radieuse*, em 1935, e *Chandigarh*, em 1950 - que culminou no plano de Brasília, em 1960; o plano da Grande Londres por Abercrombie, em 1943; o *Copenhagen Finger Plan*, em 1947; e o Plano Regional de Estocolmo, em 1967.

As plantas esquemáticas das cidades jardim, e seus “cinturões” verdes, e do *Copenhagen Finger Plan*, ilustram graficamente como os elementos morfológicos e os valores que compõem o sistema de espaços livres evoluíram na primeira metade do século XX, apontando soluções inovadoras (**Figura 3**).

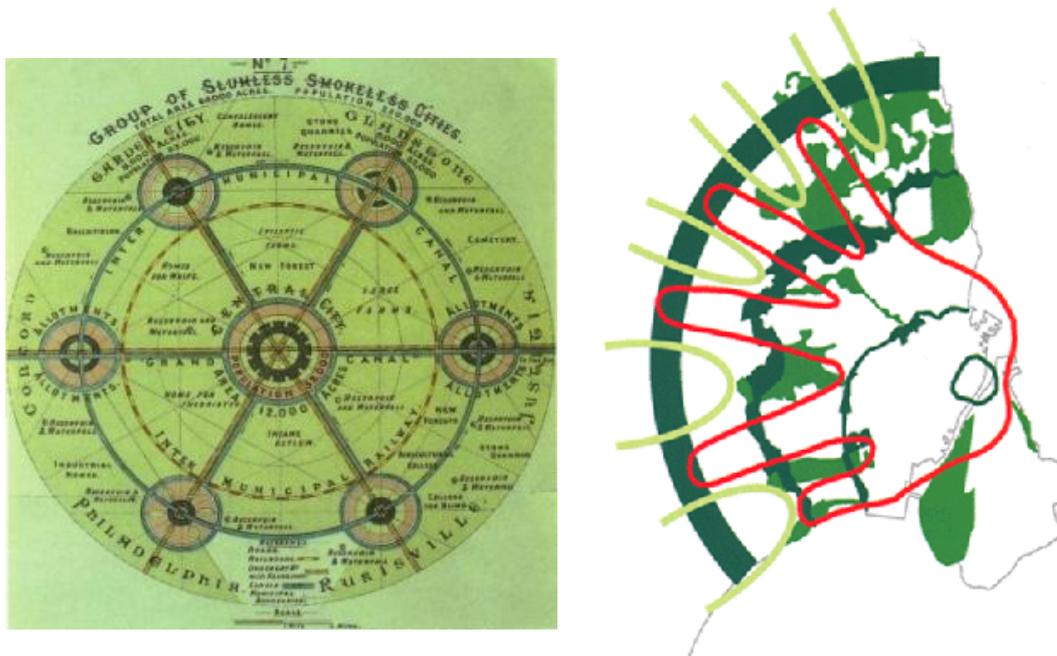


Figura 3 – Plantas esquemáticas das cidades jardim de Ebenezer Howard, de 1902, e do *Copenhagen Finger Plan*, de 1947 ⁷.

⁷ Fontes das imagens na sequência:

<http://www.museumofthecity.org/exhibit/cities-futures-past/ebenezer-howards-garden-city>, 2012.

<http://www.iiinstitute.nl/referencecases/rc-copenhagen-finger-plan>, 2012.

A partir da década de 1990, Paris, Berlim e Barcelona seriam exemplos de cidades que adotaram propostas de planejamento que refletem a busca da sustentabilidade como parâmetro urbanístico, utilizando o conceito de sistema de espaços livres como um dispositivo de ordenação e integração da ocupação urbana no território (Tardin, 2008).

Não há consenso entre os autores sobre a definição de conceitos de território, paisagem e espaço livre. A maior parte das referências provém do urbanismo, da geografia, da ecologia e do paisagismo, com conotações e conceitos instrumentais sendo determinados pelo tipo de análise. Pode-se dizer que o território é um espaço construído pelo homem sobre a natureza primitiva e a paisagem o fruto da interpretação humana deste espaço. A paisagem artificializada abarcaria a construção, o uso, a percepção e a leitura do lugar, conforme cada lugar e as intenções e práticas de cada comunidade (Tardin, 2008).

Como lugar da natureza, os espaços livres reúnem elementos biofísicos responsáveis pela qualidade ecológica do território, através das relações que estabelecem entre os seres vivos e seu meio inorgânico (McHarg, 1969; Odum, 1998; entre outros). Neste sentido, os elementos biofísicos materializam o resultado, positivo ou negativo, das causas e das consequências entre os processos naturais e artificiais que se desenvolvem em um local, o que pode envolver a vegetação, a água, a estrutura do solo, o clima, etc. (Tardin, 2008, p.44).

O método de Tardin (2008) traça estratégias de intervenção a partir da ordenação do sistema de espaços livres do território. Reforça a ideia de sistema em contraposição à intervenção pontual nos espaços livres; no reconhecimento da natureza complexa dos espaços livres e da pluralidade de seus respectivos atributos, sejam estes biofísicos, perceptivos ou urbanos, entre outros; na ênfase na ordenação do sistema, tendo na complementaridade entre o sistema de espaços livres e a conformação de seu entorno uma diretriz do projeto territorial.

... a análise dos espaços livres territoriais recai sobre as superfícies não ocupadas, protegidas por lei ou não, de propriedade pública ou privada, cobertos por vegetação ou não, que possam representar oportunidades para a reestruturação do território. A importância das análises sobre estas superfícies se fundamenta no fato de que, por um lado, geralmente são áreas cujo valor estrutural não é reconhecido pelo planejamento (com exceção daquelas já protegidas e de valor indiscutível) e, por outro lado, constituem espaços ameaçados pela ocupação urbana. Ao mesmo tempo, se crê que devam permanecer livres de ocupação e que possam formar um sistema, sendo elementos estratégicos do projeto territorial. (Tardin, 2008, p.45).

Tardin (2008) chama atenção para a importância do entendimento do que é *sistema*. As conexões, as relações entre os espaços e seu entorno e a forma pela qual essas se estabelecem.

Um sistema se define por um nódulo, uma periferia e a energia mediante a qual as características pioneiras elaboradas e localizadas no centro conseguem projetar-se na periferia, que está sendo modificada por elas. É somente a partir deste esquema que seremos capazes de apreender sistematicamente as articulações do espaço e reconhecer a sua própria natureza. Isto deveria possibilitar a definição, de maneira exata e particular, de cada pedaço da terra. Cada sistema espacial e as localizações correspondentes aparecem, então, como o resultado de um jogo de relações; a análise será tanto mais rigorosa quanto sejamos capazes de escapar às confrontações entre variáveis simples que na maioria das vezes levam a análises causais ou a relações de causa e efeito que isolam artificialmente certas variáveis e impedem de abranger a totalidade das interações (Santos, 1978, apud Tardin, 2008, p.46).

O sistema espacial, neste contexto, é representado por um conjunto de elementos de diferentes escalas, aptos a estabelecer relações de toda a ordem entre si e com o entorno, sob influências mútuas mas relativa autonomia. A repercussão das dinâmicas dos elementos e de suas relações, sobre a estrutura geral do sistema, varia de acordo com as escalas dos fatos. Considerando a escala uma fração de espaço dentro do espaço total, quanto maior é a escala do fenômeno, maior tende a ser a sua repercussão no sistema. Como um sistema, o conjunto de espaços livres é mais que a soma das partes, compondo um todo mais significativo que uma simples justaposição (Santos, 2002, apud Tardin, 2008, p.46).

Como um todo dinâmico, o sistema de espaços livres reflete as permanências e modificações por que passou ao longo dos anos; a forma como se deu a ocupação urbana; o movimento das águas, enchendo e baixando seus cursos; as modificações no clima e na vegetação; a evolução dos solos, entre outros eventos. Os espaços livres podem passar de não ocupados a ocupados, de espaços com água a espaços secos, de espaços explorados a espaços abandonados. O sistema resultante é a estratificação dos registros dessas distintas idades, cuja análise intencionada pode apontar estratégias de intervenção no território (Tardin, 2008).

Para a ordenação do sistema de espaços livres é importante reconhecer os elementos que o compõem e as relações que se estabelecem entre eles e com o seu entorno imediato. A composição do sistema de espaços livres, como mosaico de ecossistemas, reuniria espaços descontínuos e contínuos, contendo características morfológicas distintas de acordo com os seguintes critérios e denominações propostos por Forman (1995, apud Tardin, 2008, p.46):

PATCHES – fragmentos ou peças do mosaico de características homogêneas e de formatos distintos, alongados ou largos, com limites retos ou curvos.

CORRIDORS - corredores – faixas de elementos lineares diferentes do entorno e que atravessam um lugar. Os corredores podem ser de três tipos básicos: *through corridors* – faixa de baixa vegetação comparada a matriz do entorno; *wooded strips* - corredores com vegetação mais alta que as matrizes adjacentes; *stream and river corridors* - com vegetação mais alta ou mais baixa que as matrizes contendo um canal de fluxo de água.

MATRIX – matrizes - representam os ecossistemas que ocupam áreas extensas, englobam fragmentos e corredores, muito conectada e controla as dinâmicas da paisagem regional. Possui três atributos básicos: a área - que corresponde à cobertura vegetal predominante; a conectividade - que corresponde ao grau de conexão com as áreas circundantes; controle sobre as dinâmicas - que corresponde à presença de elementos que fornecem recursos necessários à conformação do meio.

BOUNDARY ZONE – fronteiras - cada elemento do sistema tem uma margem entre ele e os demais. Duas margens combinadas geram uma zona de fronteira, que pode ser entre espaços livres ou entre estes e o estrato construído.

A fração de espaço dentro do espaço total, ou escalas, dos elementos do sistema de espaços livres são variáveis, assim como seu grau de continuidade. Os elementos podem ser contínuos, conectados entre si como os corpos hídricos, ou descontínuos, separados por porções do território e atuando como “satélites” do sistema contínuo. O grau de continuidade pode favorecer ou prejudicar o desenvolvimento dos fluxos no sistema, dado que os fluxos, sobretudo os

energéticos, são vitais para o funcionamento e para a própria existência do sistema. Os espaços livres, contínuos ou não, possuem relações espaciais diretas com seu subsolo, suas fronteiras e seu entorno. Do mesmo modo, tudo o que sucede nas fronteiras e no entorno também afeta diretamente os espaços livres, como as ocupações urbanas e as interferências resultantes em seus processos naturais.

A manutenção e a restauração das continuidades biofísicas protegem os ecossistemas, favorecendo a diversidade e o desenvolvimento dos processos naturais e apontando limites à ocupação urbana. As continuidades biofísicas garantem as estruturas bióticas e abióticas do lugar contra a degradação ecológica, que pode representar um risco à própria ocupação urbana. Neste contexto, o reflorestamento de espaços compartimentados, o restabelecimento dos cursos de água e a implantação de corredores de fauna sob as vias, são soluções significativas que beneficiam as dinâmicas biofísicas.

Os critérios de avaliação priorizam os espaços cujos atributos favoreçam o desenvolvimento dos processos biofísicos e visuais, visando a reestruturação espacial e funcional do território. A síntese é um diagnóstico, que destaca as qualidades de cada peça segundo seus atributos, identificando os possíveis espaços de oportunidade projetual para a ordenação do sistema e as relações espaciais entre eles e seu entorno.

São descritos, a seguir, os critérios definidos por Tardin (2008) na abordagem específica dos atributos do suporte biofísico dos espaços livres, foco desta dissertação. No presente trabalho, o atributo relativo à *edafologia* é substituído pelo atributo *solo*⁸, tendo em vista o objetivo aqui ser voltado à definição de áreas aptas à ocupação. Neste sentido a classificação de solos permite sua correlação com a geotecnia, fundamental na avaliação para os fins propostos.

Segundo Tardin (2008, p.125-126), são os seguintes os atributos do suporte biofísico, e os aspectos a serem considerados em sua análise e avaliação:

⁸ A rigor, neste contexto, o atributo *edafologia* teria seu equivalente na disciplina da *pedologia*, que trata da origem, morfologia, distribuição, mapeamento e classificação dos solos. Nos capítulos seguintes são feitas ainda outras adaptações na nomenclatura utilizada por Tardin (2008).

Atributos do suporte biofísico

A análise dos atributos biofísicos tem por objetivo avaliar os espaços livres que colaborariam para a manutenção dos processos naturais do lugar como áreas sensíveis à exploração e à ocupação urbana. Para tanto, são examinados os seguintes elementos: a cobertura vegetal, a hidrologia e a declividade (a edafologia é analisada, mas não foi considerada na avaliação final dos atributos biofísicos dos espaços).

Para determinar a avaliação dos atributos biofísicos dos espaços livres, se busca identificar a vulnerabilidade à exploração e à ocupação urbana em cada peça, relativo à manutenção dos seus processos naturais e, conseqüentemente, como um fator que atuaria a favor de sua não ocupação. Para tanto descreve e avalia as seguintes variáveis:

A cobertura vegetal.

Destaca-se a permanência das comunidades vegetais menos alteradas em comparação com as mais alteradas, de acordo com as modificações que sofreu um determinado ecossistema em relação a sua conformação original.

A hidrologia.

Priorizam-se os lugares mais expostos às inundações e aos deslizamentos frente aos menos expostos, dada a necessidade de preservar os lugares essenciais às dinâmicas hídricas.

A declividade.

Ressaltam-se os lugares menos vulneráveis aos desmoronamentos frente aos mais vulneráveis, de acordo com as encostas e as condições de solo que apresentam.

A edafologia.

Busca-se detectar os terrenos mais aptos para o uso agrícola em comparação com os menos aptos, segundo reúnam condições favoráveis ao desenvolvimento da agricultura. Os espaços livres, sendo mais aptos para a agricultura, podem ser um fator privilegiado na eleição dos usos do solo e das atividades compatíveis ou adequadas a um determinado lugar. Cabe ressaltar que a edafologia é considerada como dado a levar em conta na caracterização dos espaços livres, embora não tenha feito parte da avaliação final dos atributos biofísicos dos espaços.

2.3 Suporte biofísico

São abordados os elementos que constituem o suporte biofísico, numa aproximação aos padrões observados na área de estudo, e com o objetivo de obter um entendimento genérico dos atributos que serão efetivamente avaliados.

2.3.1 Vegetação

Autores que tratam do sistema de espaços livres ressaltam a importância da vegetação no equilíbrio natural dos territórios, na qualidade do ambiente e no processo de manutenção e renovação da vida como um todo. A vegetação permite manter a estabilidade de solos e encostas, a perenidade dos corpos hídricos, a qualidade do ar e da paisagem urbana. (McHarg, 2000; Hough, 1995; Tardin, 2008; entre outros).

Além das características paisagísticas, a vegetação estabiliza as encostas, retarda a erosão, influi na quantidade e qualidade da água, filtra a atmosfera, atenua os ruídos e constitui o habitat de numerosas espécies animais. A localização, espécie e porte da vegetação, são elementos cruciais nos planos para proteger espaços livres e o equilíbrio do ecossistema urbano, favorecendo a composição atmosférica, a velocidade do ar, a umidade ambiental e a radiação solar e proteção contra o ruído (Higueras, 2006).

A conservação da cobertura vegetal atua na direção contrária à alteração de um ecossistema. Quanto menos alterada uma comunidade vegetal, maior será a conservação de sua estrutura original e de seus processos naturais. As comunidades mais alteradas tendem a se degradar, passando a depender da atuação humana para sua manutenção. Tornam-se menos autossuficientes e as transformações na sua estrutura original podem comprometer a qualidade dos ecossistemas (Hough, 1995, apud Tardin, 2008).

O conhecimento da cobertura vegetal original também permite inferir o tipo climático predominante de uma determinada área (Lumbreras e Gomes, 2004).

Os agrupamentos vegetais observados em Vargem Pequena, descritos na tabela de atributos do PEDOGEO em sua relação com as classes de solo, e conforme a caracterização de Lumbreras e Gomes (2004) sobre a vegetação do município do Rio de Janeiro são:

FLORESTA TROPICAL SUBPERENIFÓLIA - densa e de grande porte, encontrada nas partes mais altas do maciço da Pedra Branca e encostas mais úmidas - existente no setor norte do bairro, associada à ocorrência de latossolo vermelho-amarelo;

FLORESTA TROPICAL SUBCADUCIFÓLIA - encontrada nas encostas mais secas e pequenos maciços de baixa altitude, diferenciando-se da floresta subperenifólia por seu menor porte e densidade, e por grande parte das espécies perderem as folhas no período seco - existente nos setores norte e intermediário do bairro, associada à ocorrência de argissolo vermelho-amarelo, chernossolo argilúvico e planossolo háplico;

FLORESTA SUBPERENIFÓLIA DE VÁRZEA - da qual só restou vestígios de uma floresta que existiu em outras circunstâncias, densa, de porte baixo, em terrenos mais elevados dentro da várzea - existente no setor intermediário do bairro, associada à ocorrência de neossolo flúvico;

CAMPO HIDRÓFILO DE VÁRZEA - encontrada nas várzeas úmidas e alagadas e em relevo de cotas mais baixas, caracterizando-se pela variedade de gramíneas e ciperáceas - existente na extremidade leste do setor sul do bairro, associado à ocorrência de gleissolo háplico;

CAMPO HALÓFILO DE VÁRZEA - além das características comuns à campina de várzea pode ser atingido pelas águas das marés, responsáveis pela alta salinidade destas áreas, apresenta uma vegetação halomórfica, caracterizada principalmente por espécies do gênero salicornia - existente em uma pequena faixa na extremidade leste do setor sul do bairro, associado à ocorrência de organossolo tiomórfico.

2.3.2 Relevo

A geomorfologia é a ciência que estuda o relevo da superfície terrestre, sua classificação, descrição, natureza, origem e evolução, incluindo a análise dos processos formadores da paisagem.

O conhecimento do tipo de relevo, da evolução das vertentes e da dinâmica fluvial permite a análise integrada do ambiente, tendo como base a avaliação do relevo, ou avaliação morfodinâmica da paisagem. Esta avaliação identifica categorias de relevo em função de suas características e sua dinâmica atual, bem como os efeitos das atividades antrópicas, e sua reciprocidade, sobre a morfodinâmica. Nela é considerada a interação do relevo com outras variáveis ambientais como a rocha, o solo e a cobertura vegetal, além do clima e da hidrologia (IBGE, 2004).

A literatura apresenta mais de uma forma de classificação do relevo, que visam refletir, em última análise, as condições de declividade do terreno. Neste trabalho a declividade tem grande importância como parâmetro para a geotecnia, o ramo da engenharia que estuda a mecânica dos solos e rochas em sua interação com as obras construídas pelo homem.

Conforme a classificação adotada por Lumbreras e Gomes (2004), um terreno pode apresentar as fases de relevo a seguir relacionadas. Todas essas fases podem ser encontradas na área de estudo:

PLANO – superfície de topografia horizontal, com pequenos desnivelamentos e declividades variáveis entre 0 e 3%;

SUAVE ONDULADO – superfície de topografia pouco movimentada, conjunto de colinas e/ou outeiros (altitudes até 50m e/ou 50 a 100m), declives suaves, variando predominantemente entre 3 a 8%;

ONDULADO – superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros apresentando declives moderados, predominantemente variáveis de 8 a 20%;

FORTE ONDULADO - topografia movimentada, outeiros e/ou morros (altitudes de 50 a 100m e/ou 100 a 200m) raramente colinas, declives fortes, predominantemente de 20 a 45%;

MONTANHOSO - topografia vigorosa, predomínio de formas acidentadas, usualmente constituídas por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes e muito fortes, predominantemente variáveis de 45 a 75%;

ESCARPADO - áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo superfícies muito íngremes e escarpadas, tais como: aparados, itaimbés, frentes de cuestras, falésias, vertentes de declives muito fortes, usualmente ultrapassando 75%.

As condições de declividade das encostas são essenciais para a ocupação urbana, pois determinam a viabilidade de acesso e construção de infraestruturas de serviços, além das próprias edificações. Encostas com declividades superiores a 20% podem apresentar risco de desmoronamento ao intensificar processos de erosão e desertificação, principalmente se conjugadas a solos desfavoráveis (McHarg, 2000; Tardín, 2008, e outros).

A tolerância quanto ao grau de declividade do terreno, para fins de ocupação urbana, varia entre os autores e fontes pesquisadas. Também os fatores de restrição legal mencionam mais de um limite. A legislação⁹ indica como limites para urbanização as declividades de 45° (equivalente a 100% de inclinação) ou de 30% (equivalente a 16,5° de inclinação), a partir de diferentes justificativas. Na avaliação do relevo foi adotado o limite de 15%, ou 8,5°, como o limite adequado para geotecnia sugerido por Antunes et al. (2012).

⁹ Resolução CONAMA nº 303, (20 de março de 2002) e Lei Federal nº 6766 (19 de dezembro de 1979), respectivamente.

2.3.3 Solo

Um levantamento detalhado de solos é fonte primária de informações sobre o território. É essencial o conhecimento quanto à adequação do solo aos usos e atividades propostas, como forma de prevenção contra a degradação ambiental. Os dados relativos ao solo são um componente essencial do inventário de informações necessárias ao planejamento (Lillesand e Kiefer, 2000).

A pedologia é a ciência que trata da origem, morfologia, distribuição, mapeamento e classificação dos solos. Os fatores que regulam os processos de formação do solo são: material de origem, clima, relevo, ação de organismos e o tempo (IBGE, 2004).

Solo é a matéria mineral não consolidada, na superfície da terra, influenciada por fatores genéticos e ambientais - clima, organismos, topografia, etc. - que atuam sobre o material de origem durante um período de tempo, gerando um produto-solo, que difere do material original em muitas de suas propriedades e características físicas, químicas, mineralógicas, biológicas e morfológicas. Na classificação de solos, para o mapeamento pedológico, são feitos cortes, na profundidade habitual de 2 m, a partir da superfície do terreno. Em algumas situações, adotam-se profundidades de até 5 m. (Curi et al., 1993, apud Lumbreras e Gomes, 2004).

Neste trabalho a base utilizada para avaliação dos solos é o PEDOGEO, um mapa digital, georreferenciado, com a classificação dos solos de Vargem Pequena. A base do PEDOGEO é o levantamento dos solos do município do Rio de Janeiro, iniciado a partir da década de 1960, no antigo Estado da Guanabara. O levantamento foi publicado pela Embrapa em 1980, e tem sido revisto e complementado até 2009 com a contribuição de vários especialistas.

O PEDOGEO relaciona a classe de solo aos elementos da paisagem natural onde ela ocorre. De acordo com Antunes et al. (2012), uma unidade de mapeamento pedológico é composta por uma ou mais classes de solo, definidas por perfis representativos da camada superficial. O PEDOGEO de Vargem Pequena constitui uma unidade de mapeamento. As classes de solo estão diretamente relacionadas à paisagem, o que permite a representação cartográfica de sua distribuição espacial.

O material de origem dos solos é o produto da decomposição de rochas cristalinas e sedimentares, além de sedimentos diversos. Sobre este material atuam processos de pedogênese, adição, transformação e perda formando os horizontes pedogenéticos A e B. Depois disto o material de origem recebe a designação de horizonte C, que pode ser constituído por solo residual ou transportado (Antunes et al., p.2, 2012).

A análise do solo envolve necessariamente o conhecimento dos demais atributos biofísicos do espaço, como o relevo, a vegetação e a hidrologia. Apenas com o entendimento de todos estes fatores reunidos é possível classificar os solos para um determinado uso. As informações de ordem pedológica não são suficientes para indicar a adequabilidade de um solo para fins de ocupação, é necessário sempre atentar para as condições de declividade e o risco de alagamentos no local, sendo também imprescindível o reconhecimento de campo. De acordo com a natureza do solo os fatores limitantes para sua ocupação serão definidos pela declividade, o risco de inundação da área, ou estes dois fatores conjugados (Antunes et al., 2012) .

Para atribuição de valores aos tipos de solo devem ser correlacionados os aspectos pedológicos e geotécnicos da área de estudo, estudos relativos ao uso do solo incluindo impactos ao meio físico e riscos associados. Podem ser correlacionados diretamente os dados gerais sobre o meio físico da região, tais como relevo, clima, geologia e vegetação; os dados específicos sobre as condições ambientais como distribuição das áreas inundáveis, solos saturados e não saturados, características mineralógicas, químicas e físicas dos solos; e, em grau mais aplicado, a ocorrência de solos expansivos, compressíveis, agressivos e com maior suscetibilidade à erosão (Antunes et al., 2012).

Os trabalhos de mapeamentos de solos, desenvolvidos dentro do contexto pedológico, fornecem informações relevantes de caráter geológico-geotécnico. Porém, possivelmente em virtude do grau de especialização e por não envolverem dados que propiciem uma adequada inferência de condições prováveis do subsolo, tais informações podem não ser plenamente entendidas ou adequadamente utilizadas no desenvolvimento de estudos preliminares de ordem geológico-

geotécnico requeridos em projetos de engenharia e em avaliações geo-ambientais (Antunes et al., p.2, 2012).

Para a caracterização preliminar de um terreno sob o ponto de vista geotécnico, e voltada aos propósitos do planejamento urbano, Antunes et al. (2012) ressalta a importância de se avaliar a existência de áreas sensíveis a fenômenos geológicos, associados ou não a eventos climáticos de monta (movimentos de massa e inundações), ou áreas com potencial de problemas tipicamente de ordem geotécnica. Neste contexto, os principais indicadores geotécnicos oriundos de informações geo-pedológicas de solos corresponderiam a áreas associadas à ocorrência de:

NEOSSOLOS REGOLÍTICOS – São solos geralmente encontrados sob condições não saturadas, em relevo forte ondulado a montanhoso. Em períodos de intensas precipitações estão sujeitos a deslizamentos superficiais resultantes da diferença entre a camada delgada de solo e a rocha subjacente, fenômeno comum em áreas cujo embasamento é constituído por rochas quartzo-feldspáticas.

LATOSSOLOS e ARGISSOLOS – Essas duas classes de solos desenvolvem perfis de solo residual¹⁰ jovem, de espessuras consideráveis, associadas a elementos estruturais remanescentes da rocha matriz. Em climas tropicais e relevos ondulados e suave ondulados, Latossolos e Argissolos podem originar espessos perfis de solo. Após várias décadas a morfologia pode apresentar certa estabilidade a partir do desenvolvimento de mecanismos internos próprios. Estas áreas, quando sujeitas à ação antrópica, são potencialmente susceptíveis à ocorrência de movimentos de massa (desenvolvimento de processos erosivos e deslizamentos).

GLEISSOLOS E ORGANOSSOLOS – São classes de solos que ocorrem em regiões planas ou com declividades suaves. São permanentemente saturados e sujeitos a alagamentos. Assim, não devem ser usados para

¹⁰ Para a geotecnia, o solo residual é aquele que permanece em seu local de formação, ou seja, é formado *in situ*, a partir da ação dos processos intempéricos sobre a rocha matriz. Já o solo transportado é aquele cujos grãos ou partículas foram removidos de seu ambiente original por processos erosivos (pluviais, aluviais, eólicos, glaciais e marinhos) e depositados em outros ambientes (Antunes et al., 2012).

ocupação urbana sem obras de infraestrutura adequadas. Os gleissolos salinos e salinos thiomórficos, desenvolvidos de sedimentos argilosos ou siltosos, de origem marinha ou flúvio-marinha, tipicamente apresentam elevada compressibilidade e baixa resistência, ou seja, são susceptíveis a desenvolver grandes deformações quando carregados, além de serem considerados solos corrosivos.

CHERNOSSOLOS – Esta classe de solos apresenta argilas de alta atividade (argilas expansivas). Em relevos montanhosos tendem a apresentar problemas de estabilidade. Sob o ponto de vista geotécnico são solos não saturados.

PLANOSSOLOS – São solos transportados, a diferença de textura entre os horizontes superficial e o subsuperficial pode torna-los susceptível à erosão. Pode apresentar hidromorfismo. As áreas mais elevadas são adequadas para ocupação urbana, enquanto nos vales o lençol freático pode atingir a superfície causando inundações.

Antunes et al. (2012) sugere que no planejamento urbano as áreas de Neossolos líticos e regolíticos, Gleissolos salinos e salinos thiomórficos, e Organossolos, sejam destinadas à preservação ambiental; bem como as áreas de Neossolos flúvicos, que ocorrem em zona de vargens e estão sujeitas a alagamentos constantes.

A classe de Neossolo (GRU), que ocorre em Vargem Pequena, seria uma das mais indicadas para a ocupação urbana. O Argissolo, classe geopedológica GP3, é propenso a processos erosivos, intensificados por desmatamentos, sendo essas áreas recomendadas para a preservação ambiental.

2.3.4 Hidrologia

O sistema hídrico pode ser considerado um indicador da interação entre os processos naturais. Na incidência de inundações a derrubada de florestas em terras altas pode ter repercussão idêntica à do aterro dos pântanos em um estuário.

Através do ciclo hidrológico, a contaminação de águas subterrâneas pode afetar as águas superficiais e vice-versa; a urbanização afeta as taxas de escoamento, de erosão e de sedimentação, poluindo a água, diminuindo os organismos aquáticos e reduzindo a depuração natural. Tudo isto gera custos de dragagem de canais e tratamento de água, podendo causar inundações ou secas. Pode-se afirmar que os processos terrestres necessitam da água e que os processos de água doce são inseparáveis da terra (McHarg, 2000).

Segundo Howard (1967, apud IBGE, 2004), as variáveis climática e litológica, entre outros fatores, influenciam os padrões de drenagem de uma área. A estrutura geológica é o principal fator, e se manifesta através de inclinações regionais da superfície ou de discontinuidades estruturais, como falhas e fraturas, que podem acarretar assimetria da bacia de drenagem ou mudança brusca do padrão de drenagem.

Segundo a classificação de Howard (1967, apud IBGE, 2004), e observando a geometria e disposição espacial dos rios e afluentes de Vargem Pequena, sem qualquer conotação genética, se poderia considerar que a área apresenta um padrão dentrítico de drenagem.

Este padrão de drenagem desenvolve-se tipicamente sobre rochas de resistência uniforme ou em rochas estratificadas horizontalmente. Os canais distribuem-se em todas as direções sobre a superfície e se unem formando ângulos agudos de graduações variadas, mas sem chegar ao ângulo reto. Frequentemente está associado a outro padrão de drenagem, gerando padrões subsidiários, bem como padrões modificados (IBGE, 2004).

2.3.5 Áreas de proteção

Os limites da legislação são considerados na avaliação como fatores restritores da ocupação. Entretanto não foram mapeados todos os parâmetros de proteção legal que atuam sobre os espaços livres no bairro de Vargem Pequena. Foram utilizados os limites cujas informações puderam ser extraídas diretamente da cartografia digital disponível, como o limite de altitude definido pela cota 100 e as faixas de proteção ao longo das margens de rios.

A legislação que define os parâmetros de restrição legal à ocupação na área do bairro de Vargem Pequena abaixo relacionados, foram retirados de Tardin (2008):

- UNIDADES DE CONSERVAÇÃO - Parque Estadual da Pedra Branca, definido pela Lei Estadual 2.377/74.
- ZONA ESPECIAL 1 - abrange as áreas situadas acima da cota 100. É definida pelo Zoneamento do Município, artigo 163 – Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro: 1976.
- ÁREAS DE PROTEÇÃO PERMANENTE (APP) - preveem a proteção: das margens dos rios na largura mínima de 30m; das encostas com inclinação superior a 45°; dos cumes de montes e montanhas; das florestas (sob recomendações específicas) - Resolução CONAMA n° 303, de 20 de março de 2002; Lei n° 4.771 de 15 de setembro de 1965

ÁREAS NÃO EDIFICÁVEIS – Além das áreas específicas protegidas pelo município, a Lei Federal no 6766 (19 de dezembro de 1979) proíbe a ocupação nos terrenos: inundáveis; com inclinação igual ou superior a 30%; sem condições geológicas; áreas de preservação.

2.4 Potencial do GIS para o estudo do território

O estudo das cidades não possui nenhuma linguagem básica poderosa. Utiliza dispositivos emprestados pela geografia e pela arquitetura, meios que só parcialmente se revelam úteis. No caso de se conseguir desenvolver uma linguagem específica das cidades, é provável que venha a ser uma linguagem gráfica, uma vez que os gráficos são superiores às palavras (mas nem sempre à matemática) para descrever modelos espaciais complexos. (Lynch, 1999, p.328).

Os elementos que compõem o universo da Geografia são partes do complexo de inter-relações que caracteriza um lugar. O que distingue a Geografia das demais ciências humanas é este interesse pelo *lugar*, que pode significar uma

área específica, com nome próprio e endereço expresso em graus de longitude e latitude, ou uma classe ou gênero, segundo um princípio de semelhança ou relação. No segundo caso não são dados, mas conceitos formulados para dispor as características da Terra numa ordem abstrata. A compreensão do lugar deve considerar sua posição no tempo e no espaço, e não apenas a interação das forças da atualidade. O legado do passado e o sentido da transformação são qualidades essenciais ao espírito geográfico. Nenhum lugar existe no isolamento, além da natureza interna da área – lugar - devemos também perceber suas relações com o entorno - situação (Broek, 1972).

Representações do ambiente natural em projeção horizontal vêm do terceiro milênio anterior à Cristo. Registros em tábuas de argila mostram terrenos e sua situação em relação a elementos naturais e fragmentos urbanos do entorno imediato. Até o início de nossa era, a complexidade das imagens evoluiria para a representação detalhada de regiões inteiras e de levantamentos territoriais, atendendo necessidades de defesa, gestão e planejamento (Benevolo, 2005). A invenção da perspectiva no século XV pelo arquiteto Filippo Brunelleschi, inaugurou a possibilidade de representar com precisão geométrica o espaço em três dimensões em uma superfície bidimensional. Fundamentada em leis matemáticas e na visão como um sentido privilegiado de captura da realidade, a perspectiva traduziu um esforço de apreensão total do mundo físico, marcando as técnicas de representação na arquitetura, engenharia e artes plásticas até o advento da era moderna (Kamita, 2002).

Os primeiros métodos para representação do ambiente urbano e rural, em computador, utilizavam o *Computer Aided Design* (CAD), desenvolvido especificamente para o projeto e a visualização de elementos gráficos em duas ou três dimensões e com limitações para gerenciar concepções espaciais. A integração das possibilidades de modelagem da tecnologia CAD com as funções de análise em 2D do *Geographic Information System* (GIS), ofereceu oportunidades para os planejadores desenvolverem visualizações mais realistas da paisagem rural e urbana. As últimas décadas têm assistido o desenvolvimento da realidade virtual, como um meio de superar a incapacidade do CAD-GIS para refletir a realidade e suas dinâmicas (Stillwell et al., 1999).

Para muitos autores, o termo geoprocessamento englobaria o processamento de imagens, a cartografia digital e os sistemas geográficos de informação. A cartografia digital consiste na captação, organização e desenho de mapas; ao passo que um sistema geográfico de informação trata do processamento da informação espacial, ou seja, da aquisição, armazenamento, manipulação, análise e representação de dados georreferenciados (Moura, 2005).

A identificação de objetos em imagens aéreas e espaciais depende da percepção individual do observador. As informações contidas nas imagens ganham significado quando processadas pelo cérebro humano e transmitidas, transformando-se em conhecimento aplicável. Pode-se considerar que as técnicas de processamento de informações surgidas com a evolução dos sistemas computacionais nos últimos quarenta anos, que propiciou entre outros fatores o desenvolvimento de ferramentas como o GIS e o CAD, representam um novo marco no entendimento do mundo físico, necessário para o enfrentamento das questões urbanas e ambientais na escala em hoje se colocam (Lillesand & Kiefer, 2000).

O *Global Positioning System* (GPS) permite que especialistas de qualquer área georeferenciem dados coletados em campo, que convertidos para uma das estruturas de representação em GIS podem integrar o banco de dados referente a um determinado espaço geográfico. Informações como nível de precipitação, altimetria, ou amostras de salinidade, podem ser georreferenciadas com precisão com o uso do GPS. Através de geo-estatísticas e técnicas de interpolação, pode-se produzir superfícies contínuas representando a variação desses elementos dentro do espaço geográfico. Este processo é extremamente útil na produção e integração de informações ambientais que precisam ser atualizadas ou obtidas, muitas vezes, com o objetivo de monitoração (Rego, 2003).

A tradução de GIS para “sistemas de informações geográficas” poderia induzir à conclusão errônea de que todas as informações são geográficas, quando, de fato, nem todas as informações processadas são necessariamente geográficas, mas o sistema sim, pois os dados são espacializáveis. Assim, seriam aceitáveis as traduções “Sistema Geográfico de Informação” ou “Sistema Informativo Geográfico” – SGI ou SIG (Moura 2005). Neste trabalho é adotada a tradução da

denominação por extenso: “Sistema Geográfico de Informação”, e a redução original: GIS, universalmente aceita, assim como o GPS e o CAD.

O espaço geográfico pode ser dividido em planos de informação. Um GIS cria uma realidade virtual onde cada plano traduz um aspecto do espaço. Um plano com informações pedológicas descreve as formações dos solos dentro de uma metodologia específica. O mesmo se dá com a cobertura vegetal, relevo ou corpos hídricos (**Figura 4**), traduzindo o espaço em seu conjunto (Rego, 2007).

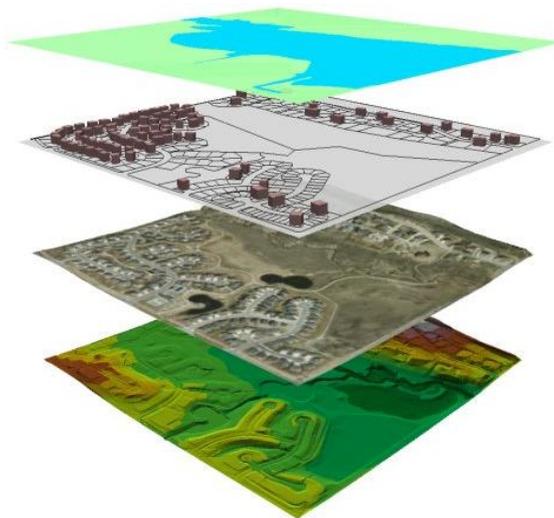


Figura 4 – Planos de informações em um GIS¹¹.

O “paradigma dos quatro universos” é sugerido para o entendimento do processo de tradução do mundo real para o ambiente computacional, que envolveria: *universo do mundo real*, que contém as entidades a serem modeladas; *universo matemático (conceitual)* que define formalmente as entidades a serem representadas; *universo de representação*, onde as entidades formais são mapeadas para representações geométricas e alfanuméricas; *universo de implementação* - nível da codificação -, onde estruturas de dados e algoritmos são escolhidos, a partir do equipamento, massa de dados, etc. (Gomes e Velho 1995, apud Câmara e Monteiro, 2001).

¹¹ Fonte: <http://www.york.ac.uk/environment/postgraduate/msc-dip-environmental-science-and-management/gis/>, 2012.

Para Câmara e Monteiro (2001), esse arcabouço também unifica questões relacionadas à Computação Gráfica e ao Processamento de Imagens embora sua aplicação seja considerada particularmente apropriada ao Geoprocessamento (**Figura 5**):

- no universo do *mundo real* encontram-se os fenômenos a serem representados (tipos de solo, cadastro urbano e rural, dados geofísicos e topográficos);
- no universo *conceitual* (*matemático*) pode-se distinguir entre as grandes classes formais de dados geográficos (*dados contínuos* e *objetos individualizáveis*) e especializar estas classes nos tipos de dados geográficos utilizados comumente (dados temáticos e cadastrais, modelos numéricos de terreno, dados de sensoriamento remoto);
- no universo de *representação* as entidades formais definidas no universo conceitual são associadas a diferentes representações geométricas, que podem variar conforme a escala e a projeção cartográfica escolhida e a época de aquisição do dado. aqui se distingue entre as representações matricial e vetorial, que podem ainda ser especializadas;
- o universo de *implementação* é onde ocorre a realização do modelo de dados através de linguagens de programação. Neste universo, escolhem-se as estruturas de dados (tais como árvores quaternárias e árvores-R) para implementar as geometrias do universo de representação (Câmara e Monteiro, 2001, cap.2, p.2-3).

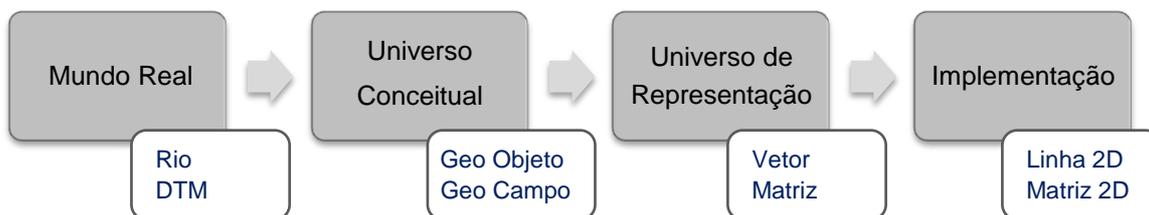


Figura 5 - Paradigma dos quatro universos (adaptado de Câmara e Monteiro, 2001).¹²

Segundo Câmara e Monteiro (2001), esta visão mostra que as dicotomias tradicionais de Geoprocessamento (campos-objetos e matricial-vetorial) se encontram *em níveis distintos de abstração*, podendo ser resolvidas. Indicaria ainda que a interface de usuário de um GIS deve refletir o universo conceitual, ocultando detalhes dos universos de representação e implementação. No nível conceitual, o usuário lida com conceitos mais próximos de sua realidade minimizando a complexidade envolvida nos diferentes tipos de representação geométrica.

¹² *Digital Terrain Model* (DTM), ou Modelo Digital do Terreno (MDT).

As metodologias para estudos ambientais poderiam ser agrupadas, de forma genérica, em duas grandes classes baseadas em: *localizações pontuais*, que combinam atributos descritivos das variáveis geográficas, onde cada localização independe das demais; ou na definição de *áreas homogêneas*, que utilizam conceitos derivados da ideia de área-unidade. Um *geo-objeto* é um elemento único que possui atributos não-espaciais e está associado a múltiplas localizações geográficas. A localização pretende ser exata e o objeto é distinguível de seu entorno. Um *geo-campo* representa a distribuição espacial de uma variável que possui valores em todos os pontos pertencentes a uma região geográfica, *num dado tempo t* (Câmara e Monteiro, 2001).

As duas grandes classes de representações geométricas do universo de representação são a *Vetorial* e a *Matricial* (**Figura 6**). Na representação vetorial um objeto é reproduzido da forma mais fiel possível, reduzido a três elementos geométricos básicos: pontos, linhas, ou polígonos. A representação matricial consiste no uso de uma malha quadriculada regular sobre a qual se constrói, célula a célula, o elemento que está sendo representado. A cada célula, atribui-se um código referente ao atributo estudado, de tal forma que o computador saiba a que elemento ou objeto pertence determinada célula (Câmara e Monteiro, 2001).

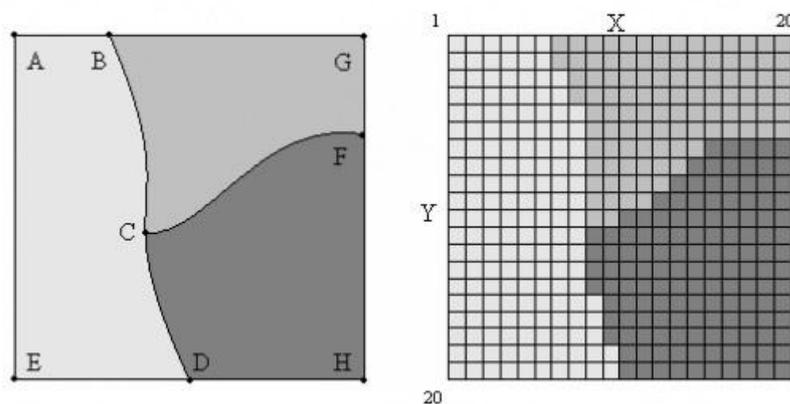


Figura 6 - Representação Vetorial e representação Matricial.¹³

¹³ Fonte: http://www.arts-humanities.net/wiki/gis_geographic_information_system_archaeology, 2012.

Por referir-se a objetos, a estrutura vetorial permite o estabelecimento de relações entre objetos de um mesmo plano ou de planos diferentes, quanto às suas características espaciais, tais como: continuidade, distância, inclusão, ponto de interseção, particularidade e sobreposição, entre outros (Egenhofer, 1994, apud Rego, 2003).

Na estrutura matricial a posição geográfica e os atributos do objeto são indicados por linhas e colunas, como numa grade. A matriz, assim constituída, define células onde os dados são armazenados. O valor armazenado em cada célula indica as características e informações acerca do objeto e a sua posição geográfica. Quanto menor a célula de uma matriz, maior o nível de resolução espacial da matriz (Lillesand & Kiefer, 2000).

Em um GIS, cada uma das estruturas de representação de dados da realidade apresenta vantagens e desvantagens. A estrutura de formato matricial tende a ser mais simples, proporciona maior eficiência em operações como a análise por sobreposição e representa mais efetivamente elementos com alta indefinição espacial, como ocorre no limite entre áreas com e sem vegetação. Por outro lado, o volume de dados no formato matricial é maior, a resolução espacial do dado é limitada ao tamanho das células da matriz e a relação topológica entre os objetos espaciais são de mais difícil representação. A estrutura de formato vetorial tem as vantagens de um volume de dados relativamente baixo e de preservar a relação dos dados topológicos, fazendo operações de cruzamento de dados de forma mais eficiente. No entanto certas operações, como a análise por sobreposição, são computacionalmente mais complexas no formato vetorial do que no formato matricial (Lillesand & Kiefer, 2000).

O conjunto assim representado permite integrar informações através de vários procedimentos de análise, que podem envolver relações espaciais de conectividade, intercepção e sobreposição (**Figura 7**), como a produção de informações a partir de modelos espaciais que indicam áreas sensíveis, tendências ou potenciais. A possibilidade de conversão mútua entre os dois tipos de representação (vetorial e matricial) dá flexibilidade à armazenagem e à análise dos dados da realidade, pois cada uma conduz ao desenvolvimento de diferentes tipos de análise espacial (Rego, 2007).

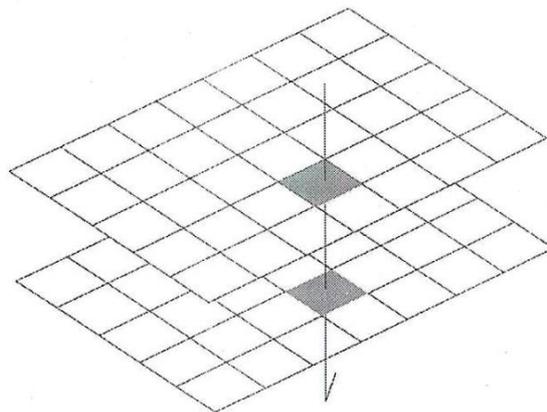


Figura 7 - Coincidência espacial – estudo e sobreposição de planos de informação em um GIS (Moura, 2005, p.70).

A produção de informação para uso em um sistema geográfico de informação envolve o aspecto espacial da informação e os atributos que qualificam este espaço. A produção do banco de dados espaciais geralmente é feita utilizando fotografias aéreas ou imagens de satélite. Estas imagens são classificadas e produzem informação espacial, conjugada posteriormente com dados que as qualificam. Estas informações também podem ser coletadas no campo diretamente da realidade e expressas através de uma estrutura de formato vetorial ou matricial (Rego, 2003).

Um sistema geográfico de informação é um sistema computacional que trabalha virtualmente com qualquer tipo de informação que possa ser geograficamente referenciada, manuseando tanto os dados relativos à sua localização como aos seus atributos. Por exemplo, um GIS pode conter além de um mapa de localização de estradas um banco de dados com a descrição de cada uma. Estes "atributos" podem incluir informações como a largura da rodovia, tipo de pavimento, limite de velocidade, data da construção, etc. (Lillesand & Kiefer, 2000).

Ao integrar análises feitas a partir de diferentes disciplinas, os sistemas geográficos de informações possibilitam um retrato mais preciso da complexidade urbana. Além das informações explícitas e descritivas proporcionadas pelo conjunto de dados cartográficos ou alfanuméricos, ao trabalhar com as relações espaciais ou lógicas, os sistemas geográficos de informações tendem a evoluir do

descritivo para o prognóstico, possibilitando traçar cenários e simular fenômenos. Procurar tornar compreensíveis as relações espaciais ou lógicas constitui a essência dos sistemas geográficos de informações (Moura, 2005).

Martin (1996, apud Moura, 2005) propõe um esquema teórico dos estágios de transformação dos dados em um Sistema Geográfico de Informação, para a produção da “informação espacial” (**Figura 8**):

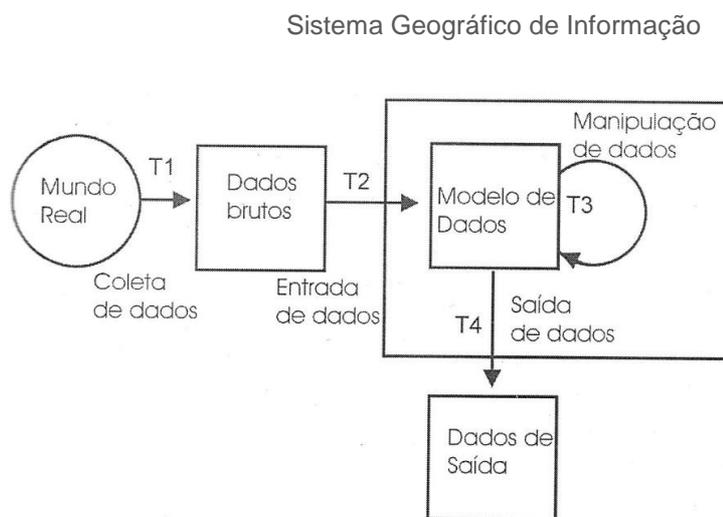


Figura 8 - Operações de transformação no GIS (Martin, 1996, apud Moura, 2005, p.15).

Um GIS envolve mecanismos tradicionais de gestão de bancos de dados. Demanda fontes externas de informações, para atualização dos atributos e mesmo da forma espacial dos objetos. Em estudos em que é necessário rigor na representação das formas dos objetos que ocupam o espaço, são úteis as ortofotos, que permitem a superposição de diferentes planos de informação e a construção de polígonos sobre imagens com um bom nível de precisão geográfica (Rego, 2003). Ortofotos são fotos aéreas ortorretificadas, em que todas as partes da topografia são corrigidas planimetricamente por computador para a sua posição projetada no plano (Barnes, 2004).

Imagens aéreas e espaciais mostram vários objetos de diferentes tamanhos e formas. Conforme a percepção individual e a experiência do observador alguns desses objetos podem ser prontamente identificados, enquanto outros não. Na prática da interpretação de imagens as informações em estado natural são processadas por um cérebro humano e comunicadas a outros, tornando-se informações utilizáveis. Atualmente a interpretação também pode ser feita através de softwares desenvolvidos com esta finalidade. Imagens espaciais, em vários níveis de detalhes, estão disponíveis desde a década de 1960. Nas duas décadas seguintes, os programas de satélites *Landsat* e *SPOT*, passaram a disponibilizar as imagens ortogonais, com resolução adequada para o mapeamento de recursos naturais. Essas imagens contêm um registro detalhado de características do sítio na época da aquisição dos dados. A análise sistemática das imagens, cotejada com outros materiais de suporte, como mapas e relatórios de campo, e apoiada pelo conhecimento do fenômeno em estudo, permite a interpretação da natureza física dos objetos e fenômenos representados. A maioria das aplicações considera as seguintes características básicas dos objetos: forma; tamanho; padrão; tom (ou matiz); textura; sombra; sítio; associação; e resolução (Lillesand & Kiefer, 2000).

Se contarmos com uma estrutura conceitual para interpretação do espaço, um GIS pode oferecer ferramentas poderosas e úteis, capazes de fornecer resultados práticos consistentes e replicáveis e de permitir ações integradas que favorecem a gestão sustentável (Rego, 2007).

O estudo da morfologia urbana possui hoje novas possibilidades com a generalização dos sistemas geográficos de informações, e especialmente com a possibilidade de utilizar e manejar dados cadastrais à escala do edifício e do parcelamento do solo. Dados estes até pouco tempo inexistentes, ou de uso limitado a planejadores, gestores públicos ou promotores privados. A disponibilidade dessas bases de dados para uso de pesquisadores e a possibilidade de relacioná-las através de programas de tratamento da informação, abre novos caminhos para a elaboração de uma cartografia rigorosa em diferentes escalas, e exige a elaboração de marcos teóricos que permitam interpretar esse acúmulo de informações (Capel, 2002).

3.

Metodologia

A metodologia geral aplicada na análise e avaliação dos atributos biofísicos da área de estudo está calcada no método interdisciplinar de Sistema de Espaços Livres e Projeto Territorial. Aplicam-se estes princípios no processo de reconhecimento, ou leitura, do suporte biofísico, segundo uma lógica morfo-topológica, e no estabelecimento dos critérios de análise e avaliação.

Uma premissa deste trabalho foi que alguns dos critérios e condicionantes utilizados para definição das áreas que devem ser mantidas livres de ocupação, no método original, também poderiam definir, em contraponto, os espaços com melhor potencial para a ocupação. Desta forma, as áreas melhor avaliadas neste estudo, a partir de suas características biofísicas, são aquelas cuja ocupação urbana evita o dano aos ecossistemas, contribuindo para a manutenção ou recomposição do sistema de espaços livres. O outro critério determinante para a definição da adequação das áreas é dado pela correlação pedologia-geotecnia.

Duas outras adaptações foram necessárias para o âmbito desta dissertação. Referem-se à utilização de um sistema geográfico de informação, como suporte para a elaboração dos mapas representativos da análise e avaliação, e à escala do trabalho. Na metodologia original a área de investigação abrange toda a área da Baixada de Jacarépaguá, e a escala utilizada é compatível com essa dimensão espacial – 1:25.000. No presente trabalho é adotada a escala 1:2.000, compatível com a construção de um mapa que possa servir como base para um projeto de intervenção urbana mais detalhado, na dimensão de bairro. Os arquivos digitais utilizados para construção da base de dados georeferenciada, foram obtidos no banco de dados do NIMA/PUC-Rio.

3.1 Materiais e procedimentos

O processamento das informações no Sistema Geográfico de Informação segue a metodologia corrente neste ambiente, constando basicamente de duas etapas: construção de uma base de dados georreferenciada; e análises e avaliações espaciais para os objetivos definidos. A seguir são brevemente apresentadas as etapas do trabalho em GIS. É considerado mais proveitoso para a estrutura do trabalho que esse processo seja mais bem detalhado na medida de sua execução.

- Procedimentos adotados na construção da base de dados georreferenciada:
 - 1 Coleta de dados e materiais
 - 2 Conversão de dados
 - 3 Classificação de cobertura com técnicas de interpretação de imagens
 - 4 Criação do modelo digital do terreno
 - 5 Classificação das vertentes e geração da camada de declividades

Na organização dos planos de informações, análises, e geração das cartas finais é utilizado o pacote de aplicativos ArcGIS Desktop 10, da ESRI. O aplicativo AutoCAD 2012, da Autodesk, é utilizado na complementação de informações planimétricas.

- Elementos básicos da estrutura utilizada no geoprocessamento dos dados:
 - Escala do produto final: 1:2000
 - Projeção: UTM (*Universal Transverse Mercator*)
 - Datum: SAD 69
 - Resolução: 1m
 - Planos de informação: declividade, solo, cobertura, área de proteção.

- Dados utilizados na construção da base de dados georeferenciada:
 - Ortofotos da Prefeitura do Rio de Janeiro (IPP), do ano de 2009, correspondentes à divisão de folhas cadastrais da Prefeitura, na escala 1:2.000 e resolução espacial de 1m x 1m, (**Figura 9**).

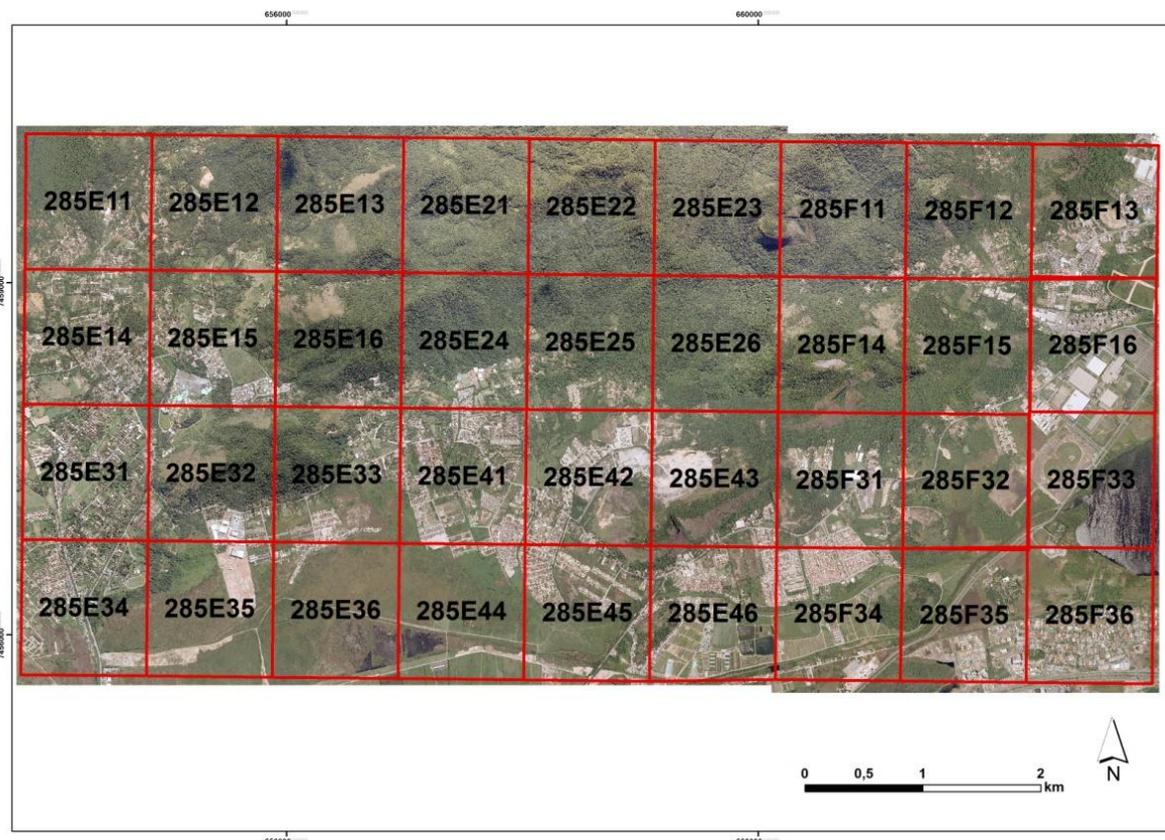


Figura 9 – Grid de imagens aéreas ortorretificadas de Vargem Pequena, na escala 1:2.000.

- Base cartográfica digital da Prefeitura do Rio de Janeiro (IPP) - Plantas cadastrais com baseadas em levantamentos aerofotogramétricos do Município, realizados entre os anos de 1997 e 2.000, com coordenadas retangulares a cada 20m, e gerados em sistema CAD, na escala 1:2.000.
- Mapa de pontos críticos de drenagem (Fundação Rio Águas) - Pontos com histórico de alagamento no Município, feito em 2012, feito sobre cartografia digital do município do Rio de Janeiro na escala 1:10.000.

d) Mapa de solos de Vargem Pequena (PEDOGEO) - Mapa georeferenciado, com a classificação dos solos do bairro, na escala 1:10.000.

Com base nos dados assim reunidos, são criadas camadas com o mesmo recorte geográfico da área definida pelos limites do bairro de Vargem Pequena contendo as informações relevantes a serem analisadas e avaliadas:

Cobertura

Declividade

Solos

Corpos Hídricos

- Procedimentos adotados nas análises e avaliações espaciais
 - 1 Definição dos pesos das variáveis
 - 2 Operação entre matrizes
 - 3 Classificação final

3.2 Caracterização da área de estudo

O bairro de Vargem Pequena está localizado na zona oeste do município do Rio de Janeiro, entre os meridianos 43°25'36" e 43°29'55", a oeste de Greenwich, e os paralelos 22°57'38" e 23°00'27" de latitude sul. Pertence à Região Administrativa da Barra da Tijuca, Área de Planejamento IV. De acordo com o Plano Diretor de 2011, o bairro está localizado na Macrozona de Ocupação Condicionada, possuindo uma área de 1443,83ha.

O maciço da Pedra Branca é um dos três grandes maciços cristalinos que compõem o relevo do município do Rio de Janeiro. Um maciço granítico em cujas abas meridionais, fronteiras à planície de Jacarepaguá, aflora um granito fluidal e

porfiróide (Lamego, 1964). Com o maciço da Tijuca e a planície sedimentar da baixada de Jacarepaguá, forma a Bacia de Jacarépaguá, uma das quatro grandes bacias hidrográficas do município segundo a divisão da Fundação Rio Águas.¹⁴

O setor norte do bairro apresenta a maior área de declividade acentuada, caracterizada pelas fases de relevo forte ondulado e montanhoso, com alguns pontos de relevo escarpado. O setor sudeste divide-se em uma área de relevo plano e uma grande formação granítica escarpada; quase vertical na face sul e muito íngreme na face norte, onde é explorada uma pedreira. A área central apresenta relevo predominantemente plano ou suave ondulado, com um ou outro outeiro de fase ondulada. No setor sudoeste predomina um relevo plano, com exceção da face sul do Morro do Bruno, que marca um dos limites do bairro e apresenta um relevo forte ondulado (**Figura 10**).



Figura 10 - Localização do bairro de Vargem Pequena sobre imagem de satélite.

¹⁴ Órgão da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro responsável pela gestão dos rios do Município.

Entre os muitos cursos d'água que cortam o bairro se destacam os rios Vargem Pequena, Cancela e Calemba, que têm suas nascentes na encosta sul do Maciço da Pedra Branca e correm pela planície imediata junto às vertentes, desaguando no Canal do Portelo, que marca o limite sul do bairro e a sua cota mais baixa, cerca de 1m acima do nível do mar.

Os dados encontrados relativos ao clima da área são genéricos e constam do levantamento de Lumbreras e Gomes (2004), que registra os tipos de clima em todo o município do Rio de Janeiro. Dentro do bairro, as condições climáticas apresentam graus de diferenciação, mas estas informações, assim como as relativas aos índices pluviométricos medidos pela Fundação GeoRio, não são encontradas mapeadas e não são utilizados na análise.

Segundo Lumbreras e Gomes (2004), os tipos de clima observados na região, de acordo com a classificação de Köppen ¹⁵ são: Cfa - clima chuvoso sem estação seca - com precipitações frontais e orográficas, ocorrendo em cotas acima de 500m, nas encostas mais úmidas voltadas para o mar; Am - clima tropical chuvoso de monção, com inverno seco e chuvas intensas o resto do ano, ocorrendo nas baixas encostas sul e leste do maciço da Pedra Branca; Cwa – clima temperado chuvoso, com inverno seco e verão quente e chuvoso - ocorrendo nas cotas superiores a 500 m, na face soalheira do maciço da Pedra Branca; Aw - clima tropical de inverno seco e verão chuvoso - é o clima das baixadas e pequenos maciços.

O verbete *vargem* designa, de modo genérico, áreas de planície situadas junto a rios e ribeirões que, por suas características, são terrenos próprios para o aproveitamento agrícola (Houaiss, 2009). Talvez por esta vocação natural, durante cerca de três séculos prosperaram grandes engenhos na região, situados em Camorim, Vargem Grande e Vargem Pequena, administrados pelos monges do Mosteiro de São Bento e que deram nome aos atuais bairros. A Igreja de Nossa Senhora do Mont Serrat, construída pelos beneditinos por volta de 1766, em

¹⁵ Segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007), existem hoje mais de 200 esquemas de classificação climática. Wilhelm Köppen é reconhecido como o primeiro a classificar os climas com base científica, levando em conta simultaneamente a temperatura e a precipitação, com limites ajustados à distribuição dos tipos de vegetação. Seu modelo, de 1918, segue a abordagem analítico-separativa e, por sua simplicidade e facilidade de aplicação, é ainda hoje a mais utilizada no Brasil e no mundo. Alguns aspectos do modelo são hoje criticados, entre estes a ausência da categoria climática subúmida.

Vargem Pequena, é um importante marco histórico da Barra da Tijuca (Berger, 1965).

O topônimo *sernambetiba* tem origem no tupi-guarani *çurunamby-tyba*: “o depósito de mariscos” ou “sambaquis”. Depósitos de resíduos de ostras e mariscos sobre os pontais e camadas arenosas da baixada de Jacarépaguá, atestam a antiga presença do mar até seis quilômetros da linha atual da costa (Silva 1962).

Cerca de 30% da área do bairro ocupa uma parte da encosta sul do Maciço da Pedra Branca acima da cota 100 e integra o Parque Estadual da Pedra Branca. Desta área, a maior parte é coberta, segundo Lumbreras e Gomes (2004), por uma vegetação característica de floresta tropical subperenifólia, densa e de grande porte, costumeiramente encontrada nas partes altas e encostas mais úmidas do maciço da Pedra Branca.

As florestas tropicais são as maiores, mais densas e variadas florestas do planeta. O clima quente e úmido favorece o desenvolvimento de grande diversidade de vida. Apesar disto o solo não é fértil, a maioria dos nutrientes está contida na vegetação e na serrapilheira - a camada sobre o solo constituída de folhas, frutos, sementes, restos de animais e insetos. Os minerais ali armazenados são rapidamente reabsorvidos pelas raízes de arbustos e árvores, que crescem rumo à luminosidade filtrada pelo dossel das copas. Apesar de sua exuberância, trata-se de um sistema interdependente e frágil (Montezuma e Oliveira, 2011).

No maciço da Pedra Branca, as principais causas da destruição da vegetação são os incêndios florestais, o desmatamento, a ocupação de encostas e a contaminação por poluentes da camada de serrapilheira. A degradação florestal é detectada por alterações no nível da paisagem: em um primeiro momento verifica-se a presença de falhas ou espaços no dossel para, em seguida, ocorrer uma efetiva redução da cobertura florestal densa, com a morte das árvores de maior porte e o surgimento de uma vegetação semelhante aos estágios iniciais. A região da Baixada de Jacarépaguá, no entorno do maciço da Pedra Branca, atravessa um processo acelerado de ocupação urbana e degradação do ecossistema florestal (Montezuma e Oliveira, 2011).

Os maciços litorâneos da Cidade do Rio de Janeiro são conhecidos como áreas de risco de movimentos de massa, em diferentes escalas e processos, e por condicionantes naturais e antrópicas. O maciço da Pedra Branca constitui, quase totalmente, uma grande área de risco com diferentes níveis de vulnerabilidade à erosão (Geo Rio, 1997, apud Costa e Silva, 2010).

A transformação da paisagem, com a conseqüente redução das florestas a fragmentos, envolve profundas alterações físicas no ambiente, destacando-se as alterações nos fluxos de energia e no clima. Nesse contexto, a ecologia de paisagem se propõe a compreender a dinâmica de substituição dessas paisagens, com principal enfoque nos processos contínuos de mudança. Estes sistemas existem em permanentes ajustes, em função das oscilações do comportamento dos diversos fatores ambientais que os compõem, caracterizado por um equilíbrio dinâmico que incorpora os distúrbios como parte integrante da evolução da paisagem (Montezuma, 2007).

Em Vargem Pequena a ocupação é caracterizada por sítios e urbanizações residenciais de baixa densidade de classe média e média-alta, também ocorrendo favelas e loteamentos irregulares. O entorno bucólico e a proximidade da natureza atrai investimentos imobiliários e aponta uma tendência de ocupação das encostas. Os espaços livres transformam-se paulatinamente em espaços à espera de ocupação, sem uma participação efetiva na conformação urbana, perdendo sua identidade original e sendo tratados como espaços isolados, protegidos ambientalmente mas ameaçados pela pressão da ocupação urbana. Os espaços livres passaram a sofrer um rápido processo de desmantelamento com a ocupação mais acentuada da planície e das encostas (Tardin, 2008).

A ocupação da área nos moldes usuais, com bairros que constituíssem no seu conjunto praticamente uma nova cidade, implicaria na destruição sem remédio de tudo aquilo que a caracteriza. O problema consiste então em encontrar a fórmula que permita conciliar a urbanização na escala que se impõe, com a salvaguarda, embora parcial, dessas peculiaridades que importa preservar (Costa, 1995).

Na elaboração do Plano Piloto da Barra da Tijuca, de 1969, Lucio Costa (1995) destinou para uso em atividades agrícolas e ambientais, e para ocupação de baixa densidade por chácaras e pequenos sítios, toda a área dos Campos de

Sernambetiba, denominação arcaica da grande planície de baixada que engloba a maior parte dos bairros de Vargem Grande e Vargem Pequena, e um trecho do Recreio dos Bandeirantes (Costa, 1995).

Na **Figura 11**, é feita a superposição de uma imagem de satélite do Google Earth, do ano de 2008, e de um trecho do desenho original para o Plano Piloto da Barra feito por Lucio Costa (1995), onde a área das Vargens está caracterizada como um grande espaço livre de ocupação.

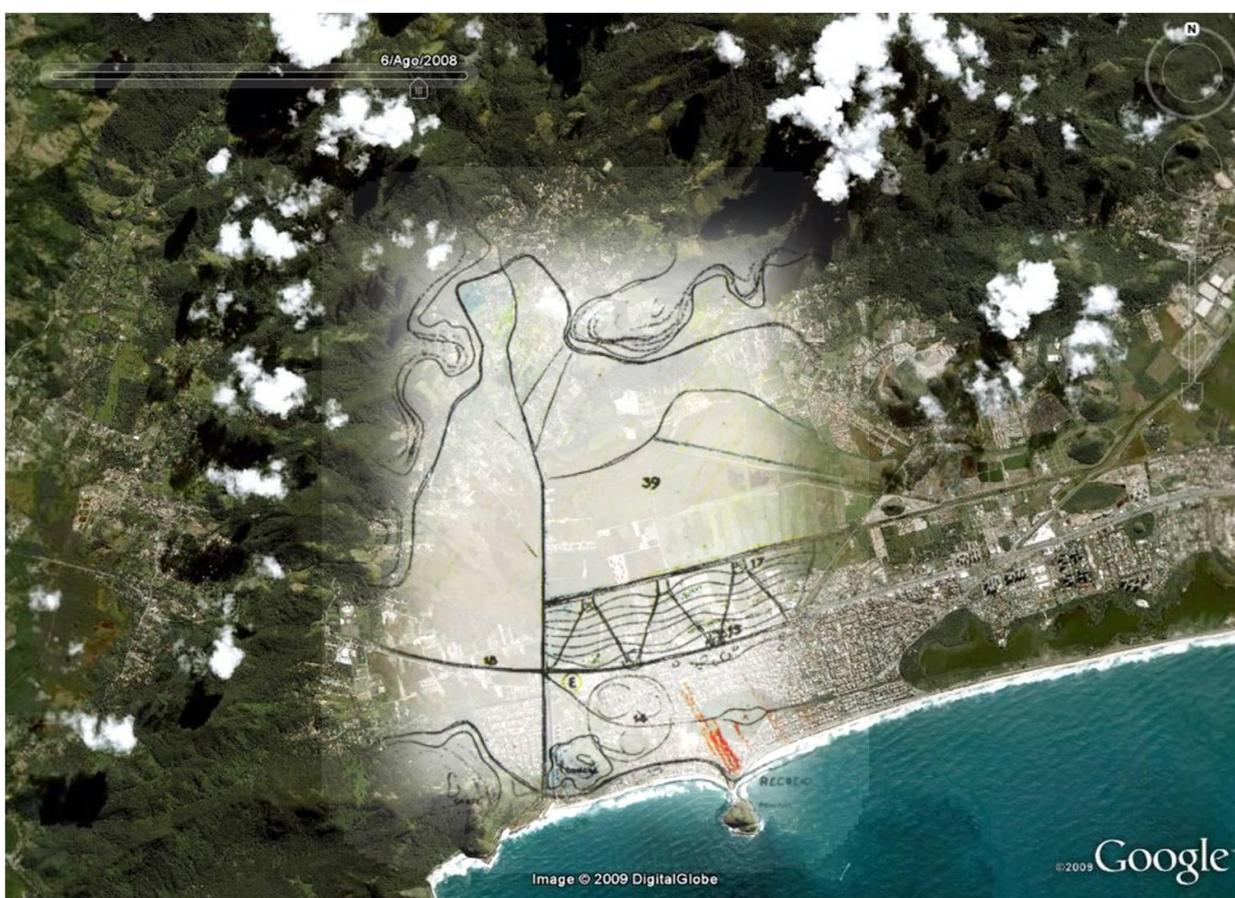


Figura 11 - Trecho de desenho original do Plano Piloto da Barra sobre imagem de satélite.

4.

Análise e avaliação do suporte biofísico com o uso de GIS

A obtenção de dados e a geração de mapas temáticos constitui uma etapa anterior ao processamento das informações em um ambiente GIS. O primeiro passo, dentro da metodologia específica do trabalho no sistema geográfico de informação, é a construção de um banco de dados com a caracterização geográfica e ambiental da área de estudo¹⁶.

Após a coleta dos dados, estes são ajustados para as condições necessárias para a análise e a avaliação, e processados visando a geração dos mapas temáticos, já utilizando os recursos do sistema geográfico de informações.

A base dos dados objetivos acerca do suporte biofísico de Vargem Pequena utilizados é o PEDOGEO. Trata-se de um mapa vetorial composto por polígonos que representam a localização das diversas classes de solo no espaço geográfico. O mapa contém atributos que relacionam as classes de solos à paisagem natural em que estão inseridas. Na avaliação destes dados conta-se ainda com informações relativas à correlação pedologia-geotecnia, obtidas de Antunes et al. (2012), além das condições de hidrologia e relevo fornecidas pela planimetria obtida da cartografia digital do Município.

¹⁶ Os procedimentos e elementos utilizados neste processo estão relacionados no capítulo de metodologia. Os mapas do modelo digital de elevação, de classificação das vertentes, de solos e corpos hídricos, bem como a maior parte das operações em GIS, foram feitos em conjunto e com o apoio de Victor Gonçalves Victorio. Os mapas e ilustrações sem referência foram feitos pelo autor.

4.1 Construção da base de dados georreferenciada

4.1.1 Conversão de dados

Não há necessidade de conversão, uma vez que todos os dados disponibilizados para a pesquisa pelo banco de dados do NIMA/PUC-Rio, em ambiente GIS ou CAD, possuem a mesma estrutura de elementos cartográficos. Os dados gerados em CAD, que constam da cartografia digital do município, são transpostos para o GIS e reconhecidos pelo sistema como um formato de representação vetorial.

4.1.2 Classificação da cobertura com técnicas de interpretação de imagem

A classificação da cobertura é feita através da aplicação de técnicas de interpretação de imagem sobre um conjunto de ortofotos do ano de 2009, na escala 1:2.000. Procura-se caracterizar os espaços livres, a cobertura vegetal, e a área urbanizada em camadas. Na classificação, cada elemento do espaço é definido a partir de sua tipologia e dimensões. Toda a área relativa ao recorte definido pelos limites do bairro de Vargem Pequena é coberta por polígonos, com camadas representando: área edificada; vias e logradouros; estacionamentos; vegetação matriz; vegetação modificada; solo exposto e rocha.

Na interpretação da imagem, a identificação e a definição dos elementos de vegetação utiliza parâmetros da abordagem dos espaços livres de Forman (1995, apud Tardin, 2008), como um mosaico de ecossistemas que reúne espaços descontínuos e contínuos e contém características morfológicas distintas. Na interpretação da imagem também são utilizados os dados do atributo vegetação, do suporte biofísico ¹⁷.

As áreas de vegetação que conservam a maior parte das características da vegetação original da área são classificadas como vegetação matriz. A maior parte da cobertura vegetal que recebeu essa classificação situa-se em cotas mais elevadas e possui árvores de grande porte. Entretanto, também ocorre em muitos

¹⁷ Seções 2.2 e 2.3

pontos das áreas de vargem, como elementos isolados, registros da matriz que podem atuar como núcleos de restauração do sistema de espaços livres.

As áreas de vegetação que apresentam clareiras, ainda que com características gerais da vegetação matriz, são classificadas como vegetação modificada. Apresentam árvores de menor porte e mais rarefeitas, mas são parte importante do sistema de espaços livres. Estas áreas estão distribuídas por todo o bairro, e têm grande potencial para a religação do sistema. As áreas que aparecem com uma vegetação mais baixa e bastante rarefeita, ou mesmo descampados, mas com uma cobertura vegetal ainda significativa, também receberam a classificação de vegetação modificada.

As áreas classificadas como área edificada, área pavimentada; estacionamentos, e logradouros, são depois unificadas em uma mesma camada denominada área urbanizada. As áreas restantes, que identificam os espaços livres existentes, têm sua classificação inicial mantida no Mapa de Classificação de Cobertura.

Posteriormente essas áreas são também reunidas em uma única camada, denominada espaços livres. A camada espaços livres, associada à camada área urbanizada, e aos parâmetros de restrição legal à ocupação, gera o Mapa Espaços Livres e Áreas de Proteção. São classificadas como áreas de restrição legal à ocupação: as áreas situadas acima da cota 100, que integram a ZONA ESPECIAL 1, definida pelo Zoneamento do Município do Rio de Janeiro; e as áreas com declividade superior a 30%, ou situadas a 30m das margens de rios, que fazem parte das Áreas de Proteção Permanente (APP) e são protegidas pela Legislação Federal. Na camada que foi criada com as informações sobre os corpos hídricos, também derivada da cartografia digital da prefeitura, foi aplicada a ferramenta *buffer* definindo uma faixa de 30m de cada lado do eixo das polilinhas que representam os cursos d'água, como área de restrição legal à ocupação.

A **Figura 12** e a **Figura 13**, representam, respectivamente, o Mapa de Classificação de Cobertura e o Mapa de Espaços Livres e Áreas de Proteção.

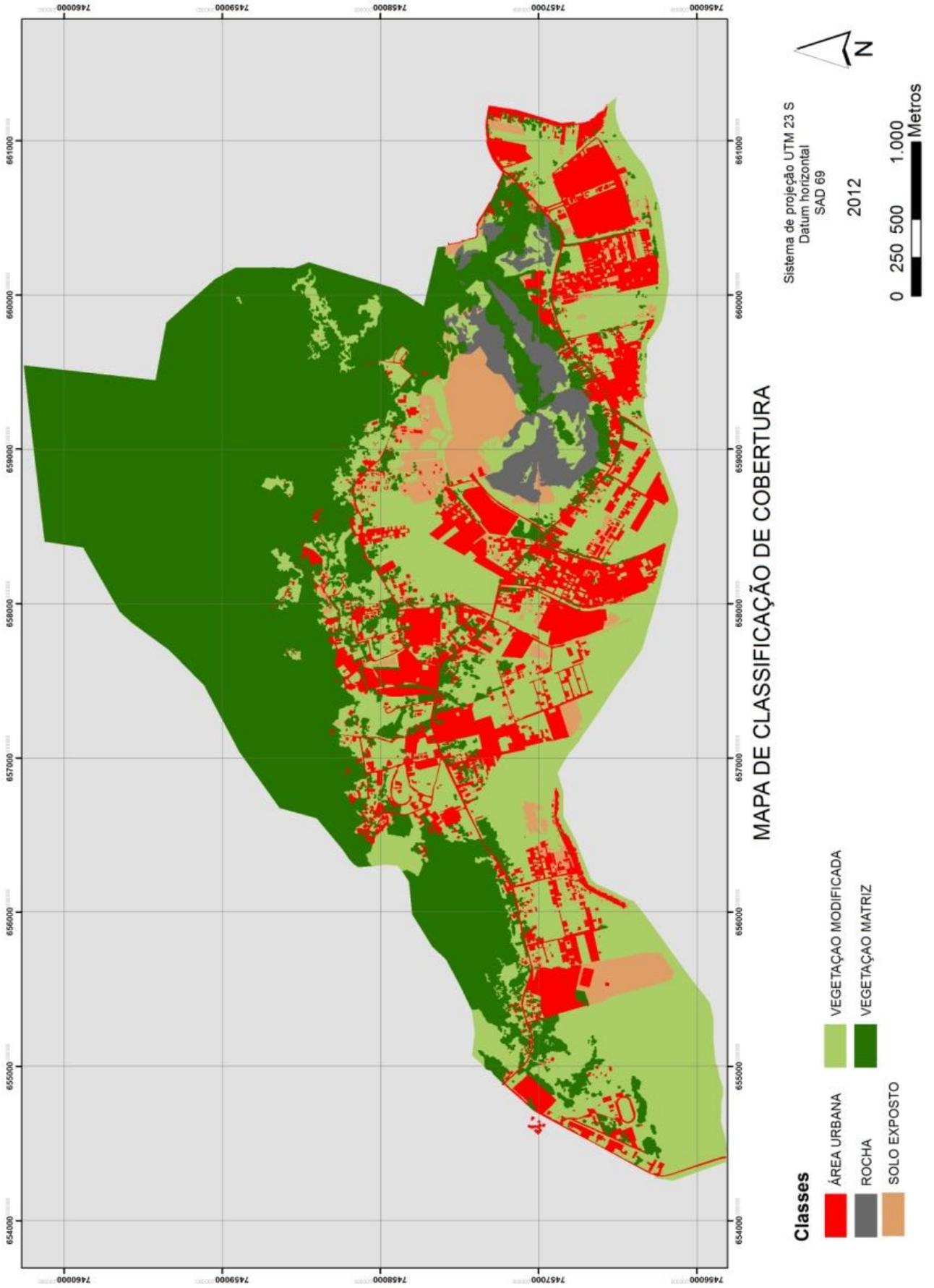


Figura 12 – Mapa de classificação de cobertura.

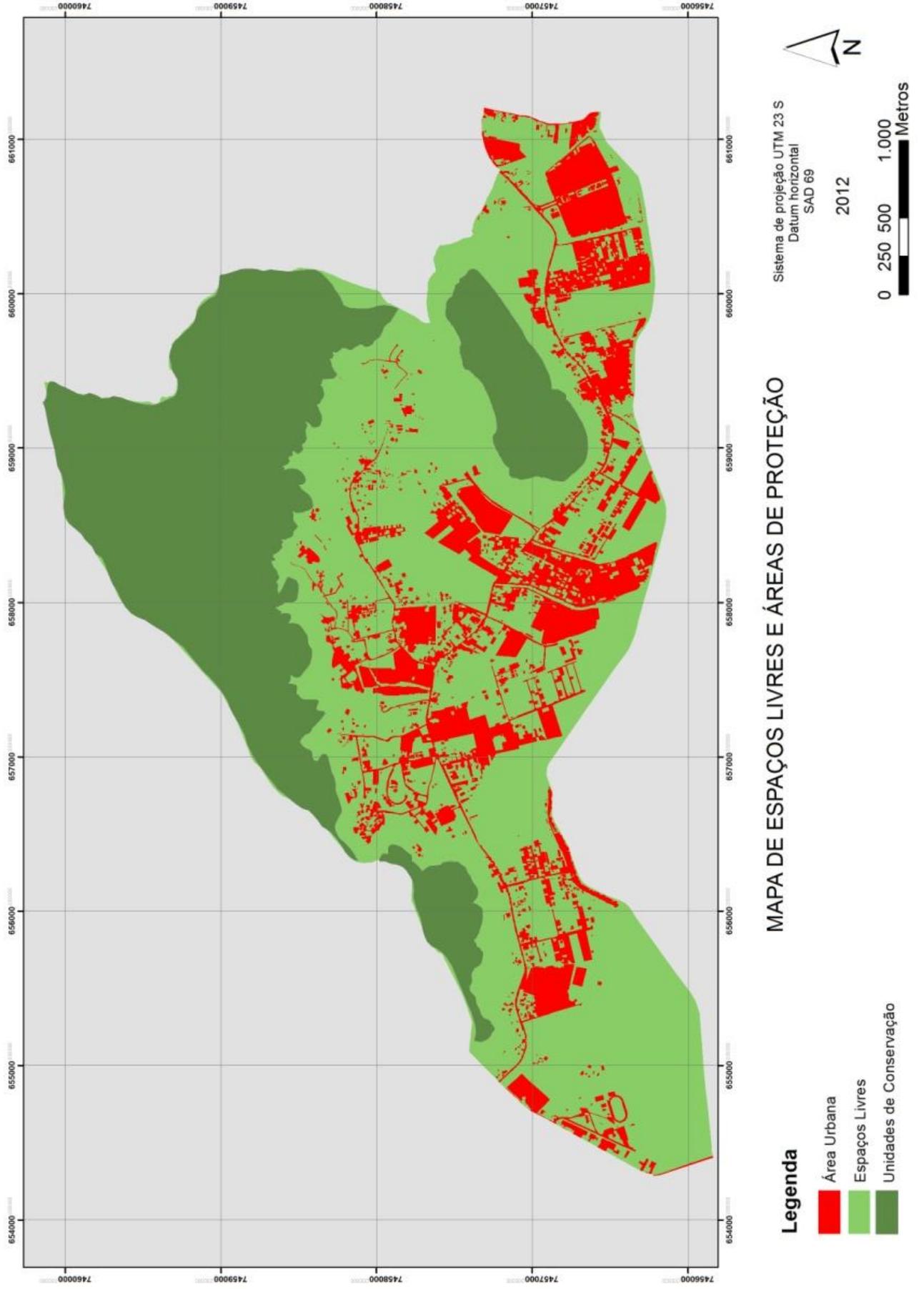


Figura 13– Mapa de espaços livres e áreas de proteção.

4.1.3 Criação do modelo digital e classificação das vertentes

O modelo digital é derivado das isolinhas que registram as cotas de altitude do terreno e constam da cartografia digital do Município, do ano de 1997. O formato de representação em 2D utilizado no CAD é reconhecido diretamente no ambiente GIS como um formato de representação vetorial. O bloco contendo as isolinhas foi transformado em uma camada com informações sobre as cotas de altitude. O modelo digital representa a área em três dimensões, e possibilita uma visualização expressiva do relevo da área de estudo.

O Modelo Digital do Terreno (*Digital Terrain Model – DTM*), é uma representação matemática tridimensional, que utiliza uma malha de elevação contínua com coordenadas tridimensionais. Pode ser gerado a partir de uma malha regular ou irregular.

A malha regular modela a superfície através de polígonos regulares como: quadrados, retângulos, triângulos e hexágonos. Enquanto a malha irregular emprega poliedros com faces e dimensões irregulares, os mais utilizados são poliedros triangulares. O *Triangulated Irregular Network (TIN)* é uma malha irregular bastante difundida, que utiliza triângulos na sua construção. No TIN é feita uma triangulação a partir de pontos irregulares no espaço X,Y e Z, respectivamente coordenadas E, N e h. Este modelo representa com fidelidade as discontinuidades do terreno (Pinheiro e Kux, 2003).

O modelo digital é gerado a partir de uma malha irregular. O Mapa do Modelo Digital de Elevação, gerado a partir do modelo digital, mostra as altitudes existentes na superfície do bairro, através de faixas representadas por uma escala cromática. O mapa gerado pelo sistema indica que as cotas de altitude do terreno variam de 1 m, em sua cota mais baixa junto ao Canal do Portelo, até sua cota mais alta na encosta sul do Maciço da Pedra Branca, 697 m acima do nível do mar (**Figura 14**).

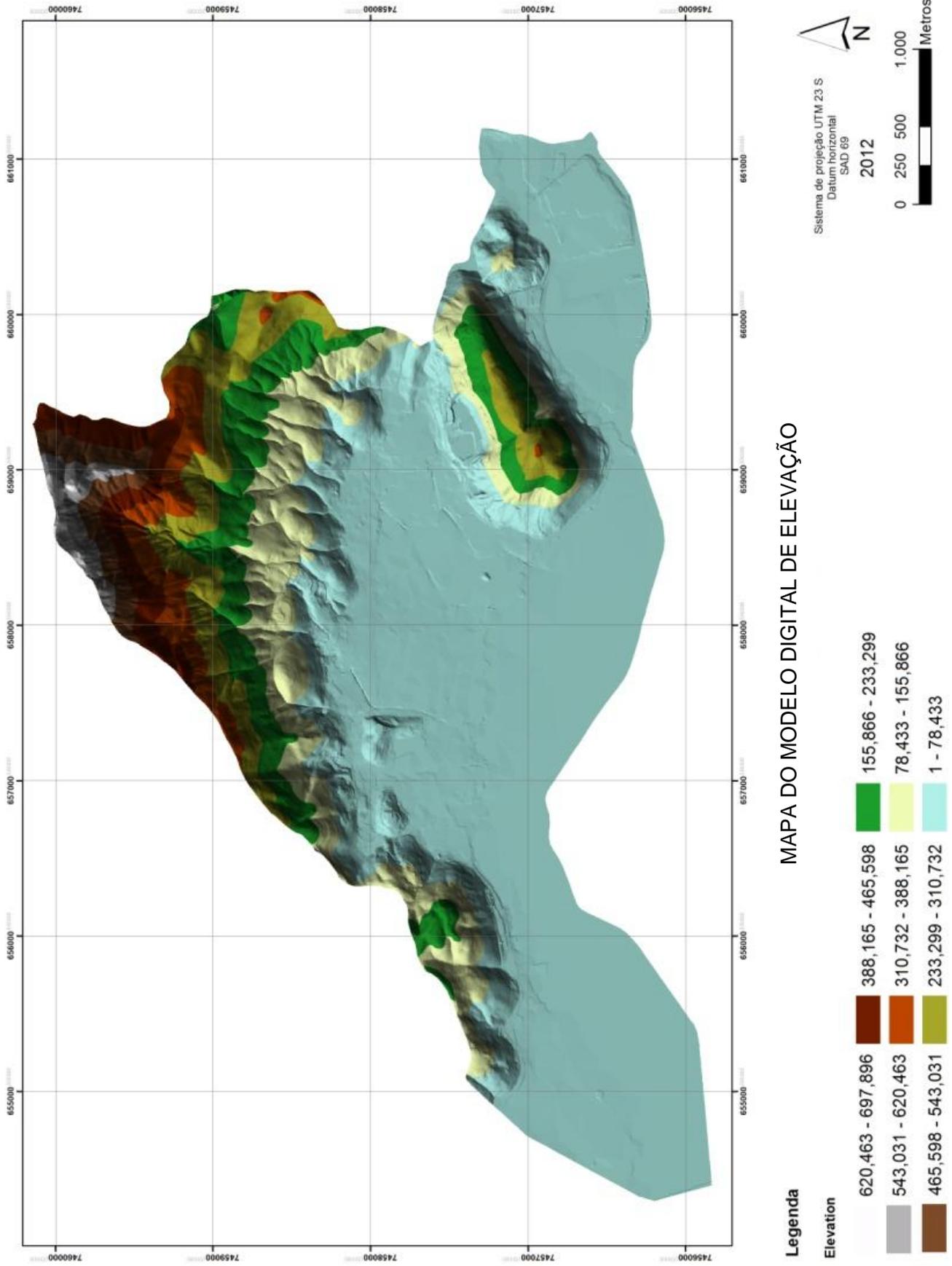


Figura 14 – Mapa do modelo digital de elevação.

A declividade é caracterizada pelo ângulo entre uma superfície inclinada e um plano horizontal, e independe do comprimento linear reto da superfície, ou seja, diferentes comprimentos de rampa podem ter a mesma inclinação. O dado relevante é a medida de elevação vertical (V) relacionada com a distância horizontal (H) correspondente. O declive é a relação entre V e H, que pode ser expressa em graus ou em porcentagem:

Graus de declive:

$$\acute{\alpha} = \text{tangente } V/H = \text{\acute{a}ngulo de inclinação}$$

Porcentagem de declive:

$$X \% = V/H * 100 = \text{\acute{a} porcentagem de inclinação}$$

Um ângulo de 45° equivale a 100% de declividade, o que mostra que grau e porcentagem são bastante diferentes para valores médios e altos de declividade. A declividade é de fundamental importância para os estudos ambientais. Através do mapa de declividade, feito a partir das curvas de nível definidas na carta topográfica, é feita a análise da declividade aproximada de qualquer área. Isto pode ser obtido através das curvas de nível ou da interpolação entre elas feitas pelo sistema (Anderson, 1982).

A partir do modelo digital é também gerado o Mapa de Declividade, que classifica as vertentes conforme o grau de inclinação que apresenta cada ponto do terreno. O mapa visa permitir a análise qualitativa do atributo declividade em relação aos parâmetros geotécnicos e legais, restritores para a ocupação urbana. Os graus de declividade são expressos pelo programa numa escala de cores que representa os intervalos de inclinação em cada trecho do terreno. A classificação das vertentes indicou que as declividades na área vão de 0 a 71° (**Figura 15**).

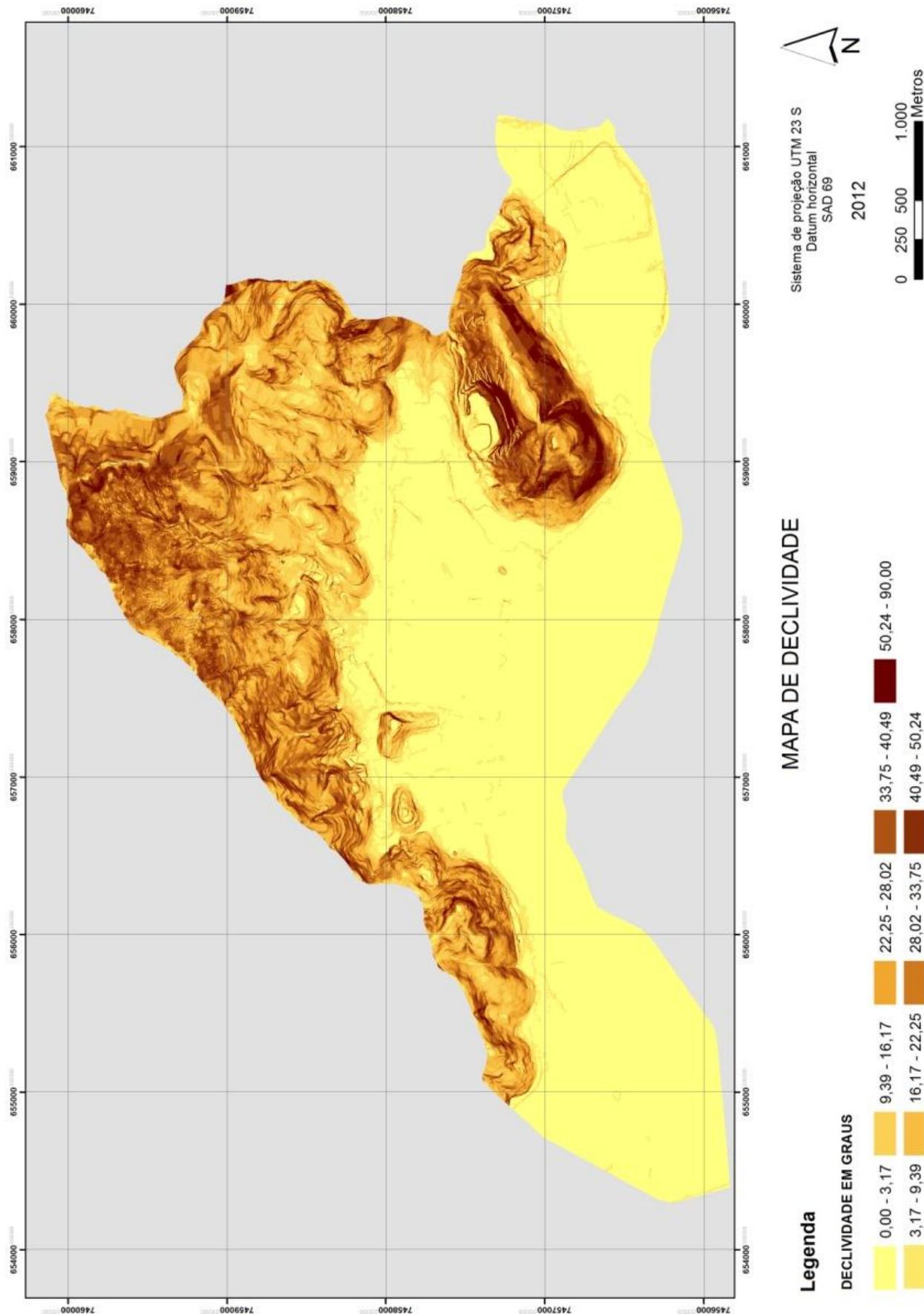


Figura 15 – Mapa de declividade.

No mapa gerado pelo sistema a declividade é expressa em graus, entretanto, alguns parâmetros relativos à declividade, utilizados para definir limites de restrição legal à ocupação ou os limites recomendados pela geotecnia, são expressos em porcentagem. Para a leitura desses parâmetros, utilizando o mesmo mapa, foi utilizado o ábaco de conversão proposto por Anderson (1982), uma escala de convenção de graus a porcentagem, e vice-versa (**Figura 16**).

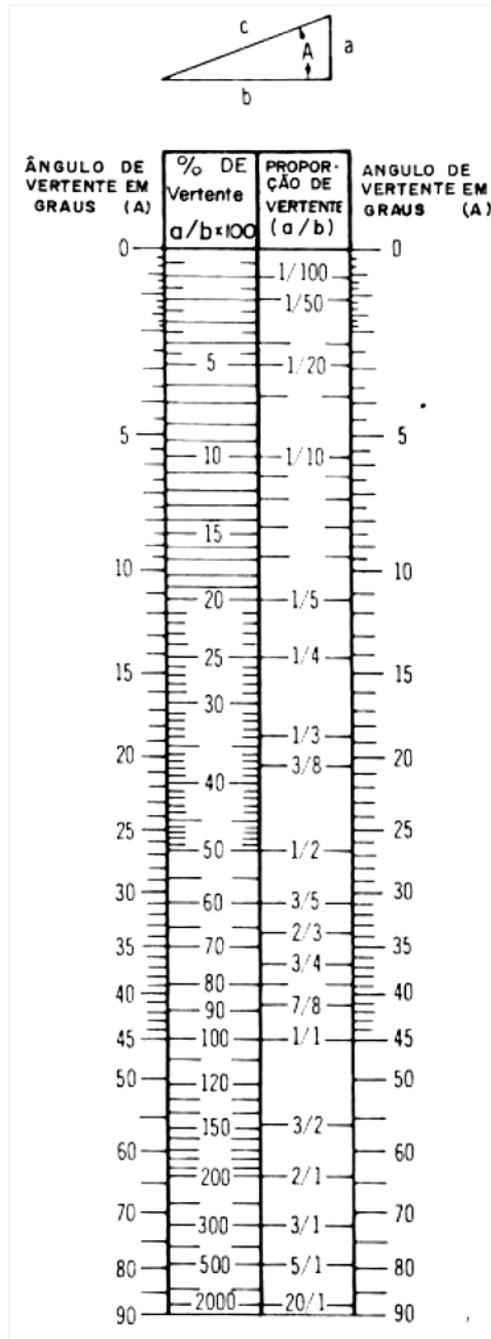


Figura 16 - Escala de conversão de vertentes (extraído de Anderson, 1982. Cap.9, p.2).

4.2 Análises e avaliações espaciais

4.2.1 Definição dos valores das variáveis

Para cada uma das variáveis é atribuída uma nota, de acordo com os critérios definidos anteriormente e a avaliação feita por conhecimento, ou seja, com o auxílio de especialistas conhecedores das variáveis e fenômenos envolvidos. Cada variável é analisada a partir de seu próprio contexto, e recebe valores relativos à condição de maior ou menor adequação à ocupação, de acordo com os critérios de análise.

De acordo com os critérios biofísicos definidos, são atribuídas notas de 1 a 10 a cada variável, da menor à maior aptidão de cada área para ocupação. É atribuída a nota *zero* a áreas não classificadas: por falta de informações; por constituírem áreas de restrição legal; ou por já se encontrarem urbanizadas.

Os valores são atribuídos numa escala de 0 a 10, integrando dez graus de avaliação. Nesta escala de avaliação, o valor *zero* significou nenhuma classificação e o valor 10 a máxima classificação. O objetivo desta escala de valores foi obter uma gradação cromática mais expressiva no mapa final de avaliação.

4.2.1.1 Cobertura

As áreas classificadas como vegetação matriz são as menos indicadas para ocupação, uma vez que a abordagem adotada visa a preservação dos processos naturais que possam garantir a manutenção do sistema de espaços livres. Áreas com vegetação modificada receberam um grau um pouco mais elevado para ocupação, considerando o menor dano ambiental em tese causado. As áreas de solo exposto receberam a melhor nota para fins de ocupação em relação à cobertura. A área urbana recebeu nota *zero*, por já se encontrar ocupada não entrou no somatório final. No **Quadro 1**, que traz as notas atribuídas na avaliação, as classes de cobertura estão associadas às cores correspondentes no Mapa de Classificação da Cobertura.

Quadro 1 - Avaliação da cobertura

Classe de Cobertura	Nota
Área Urbana	0
Vegetação Matriz	1
Vegetação Modificada	5
Solo Exposto	10

4.2.1.2 Declividade

O mapa de declividades foi reclassificado de modo que as áreas com declividades inferiores ou iguais a 15% ou 8,5° (limite indicado por critérios geotécnicos) foram consideradas as mais adequadas. As áreas com declividade superiores aos critérios geotécnicos até 30% ou 16,5° (limite restritor da legislação) foram consideradas as menos adequadas, acima deste limite não foram classificadas.

São classificadas como áreas de restrição legal para a ocupação: as áreas situadas acima da cota 100, que integram a ZONA ESPECIAL 1, de preservação do município; e as áreas com declividade superior a 30%.

Estas áreas receberam o valor *zero* na avaliação

4.2.1.3 Solo

Como mencionado anteriormente, a classificação dos solos envolve também a avaliação dos elementos da paisagem. Além dos dados pedológicos relativos a cada classe de solo, o PEDOGEO contém informações relativas à

vegetação, declividade, e outros aspectos típicos das áreas onde as classes são encontradas. As classes estão representadas no formato de representação vetorial, definidas por polígonos que contém atributos com estas informações. Estas informações, entretanto, não se encontram refletidas na imagem do mapa do PEDOGEO.

Para permitir uma análise visual da localização de cada classe de solo na paisagem, é elaborado um mapa no qual é feita a superposição da camada que representa as classes de solo (PEDOGEO), e da camada que representa os corpos hídricos (cursos d'água, áreas de brejos e alagados). Ambas as camadas são superpostas com a ortofoto que contém a imagem da área. .

A escala do PEDOGEO é 1:10.000, pois o mapa original é construído a partir do levantamento de solos de todo o Município. Como define áreas, e o seu formato de representação é vetorial, considera-se que pode ser utilizado no cruzamento de dados, quando estes são rasterizados. Estes polígonos têm cores que podem ser atribuídas aleatoriamente pelo sistema ou editadas. Os dados fazem parte da tabela de atributos mantida pelo sistema.

No mapa do PEDOGEO, algumas áreas não têm classificação pedológica e constam como área urbana. Estas áreas recebem nota *zero* na avaliação de solos. Para a definição das notas atribuídas para as classes de solo, o mapa foi cotejado com a tabela de atributos do PEDOGEO, o mapa de declividades e o mapa de corpos hídricos. Os fatores mais determinantes na avaliação do solo, além das características pedológicas de cada classe, são a declividade e o risco de inundação.

Quanto à declividade (*D*) a avaliação do solo tem por base o limite mínimo recomendado pela geotecnia, de 15% ou 8,5°, até o limite máximo de 30% ou 16,5°, definido pela legislação. Para a avaliação da propensão de uma determinada área à inundação é considerada a proximidade de corpos hídricos e o histórico de alagamentos da área, além da conformação topográfica do terreno, indicativa de suas condições de drenagem. No **Quadro 2**, que traz as notas atribuídas na avaliação, as classes de solo estão associadas às cores correspondentes no Mapa de Solos.

Quadro 2 – Avaliação do solo

Classe de Solo	(D)	Nota
Latossolo Vermelho Amarelo	> 8,5 ^o	1
Chernossolo	> 8,5 ^o	1
Argissolo Vermelho Amarelo	> 8,5 ^o	4
Neossolo Flúvico	< 8,5 ^o	9
Planossolo	< 8,5 ^o	6
Organossolo Tiomórfico	< 8,5 ^o	1
Organossolo Háplico	< 8,5 ^o	5
Gleissolo Háplico	< 8,5 ^o	9

Segundo Antunes, et al. (2012), as cores amarelo, vermelho ou similares são típicas de solos desenvolvidos na zona de oxidação e, portanto indicativas de solos não saturados. As cores preto, cinza ou esverdeado são características de solos desenvolvidos na zona de redução e, portanto, saturados. As cores variegadas ou mosqueadas podem indicar zonas de oscilação do lençol freático. Com base nesta descrição, é feita uma proposta de simbologia cromática para o mapa do PEDOGEO, que também aparece no Quadro de Avaliação de Solos.

A **Figura 17**, representa o Mapa de Solos (PEDOGEO) e Corpos Hídricos, que aqui aparecem em um único mapa, mas que foram considerados separadamente no cruzamento dos dados da avaliação.

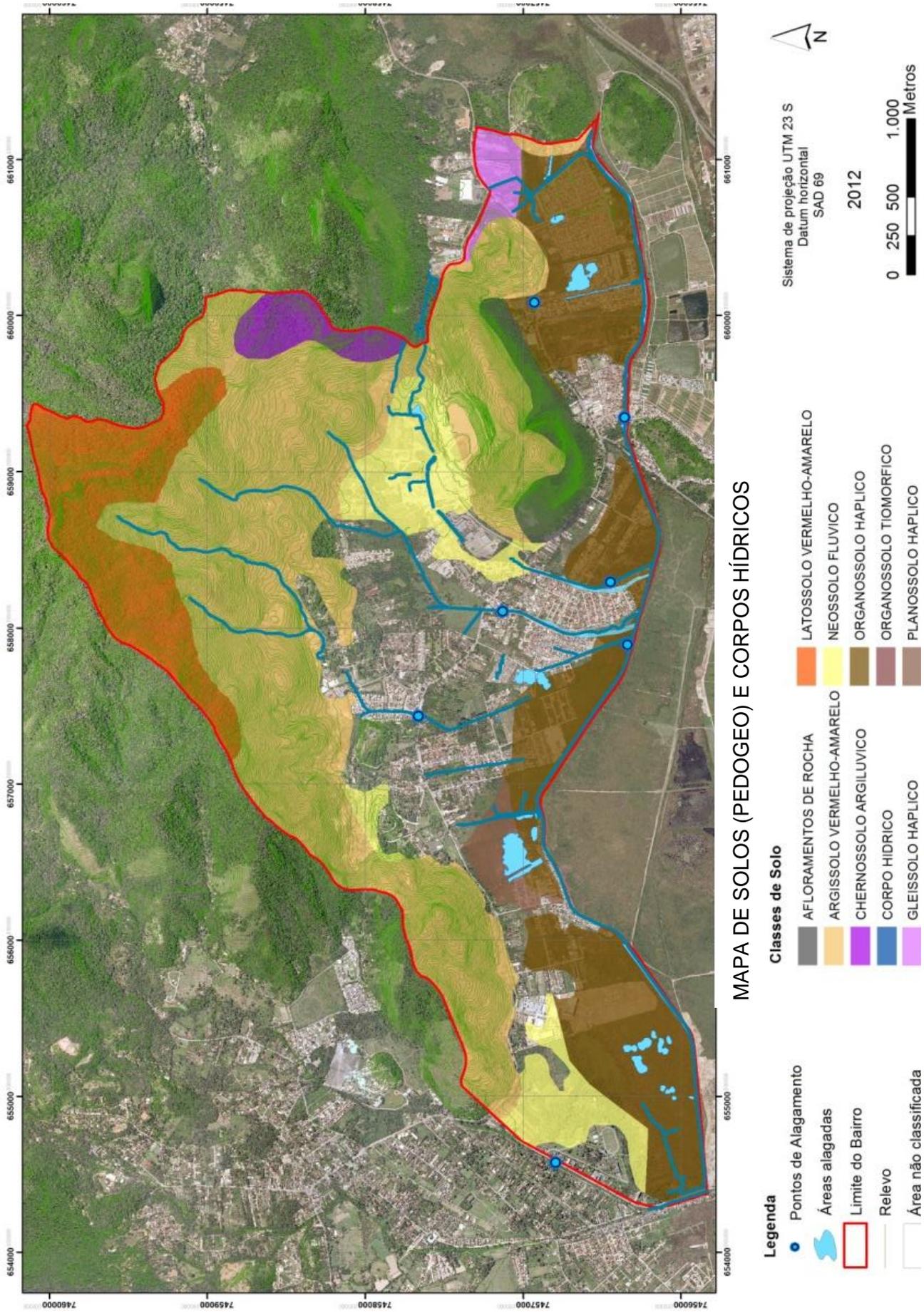


Figura 17 -. Mapa de solos (PEDOGEO) e corpos hídricos.

4.2.1.4 Corpos hídricos

Na definição do valor das variáveis, a hidrologia é considerada principalmente por sua relevância na avaliação dos solos, quanto à propensão da área para a ocorrência de inundações. Mais especificamente, devido à proximidade de elementos hídricos num determinado ponto, decorrente de deficiências na rede de meso drenagem ou de condições específicas relacionadas à morfologia do terreno.

São associadas as informações sobre a camada que representa os cursos d'água existentes, disponíveis em escala 1/2.000, com outras disponíveis na escala 1/10.000, pois cada uma contém dados parciais, e complementares, da rede hídrica. Por se tratar de representações vetoriais lineares não há defasagem significativa entre as camadas, o que torna possível obter um dado mais completo sobre os corpos hídricos existentes. A partir do eixo dos cursos d'água é aplicada a ferramenta *buffer*, para definir uma faixa 30 metros de cada lado, como área de restrição legal à ocupação.

Os pontos críticos de alagamento, constantes do levantamento da Fundação Rio Águas não entram no cruzamento de dados, pois para isso seria necessário o levantamento no terreno das coordenadas da área efetivamente alagadas no momento das ocorrências. Contudo esta informação influi na avaliação das áreas próximas ao ponto de ocorrência.

A matriz com as informações sobre os corpos hídricos, que é utilizada no cruzamento dos dados, não contém a informação relativa aos pontos críticos de drenagem da Fundação Rio Águas. A camada relativa aos corpos hídricos é utilizada para delimitar as áreas de restrição legal à ocupação urbana, situadas a 30 m das margens de rios, e que integram Áreas de Proteção Permanente (APP), protegidas por leis federais. Estas áreas receberam o valor *zero* na avaliação.

Embora aqui representadas em conjunto, a matriz relativa ao solo e a matriz relativa aos corpos hídricos são consideradas separadamente na soma das matrizes.

4.2.2 Operação entre matrizes

Para que seja possível somar os dados relativos às variáveis referentes a cada ponto geográfico da área de estudo, nos diferentes planos de informação, os mapas são rasterizados, ou seja, transpostos para a estrutura de representação matricial. Como na representação matricial cada célula de uma camada corresponde a outras, nas demais camadas, relacionadas ao mesmo espaço geográfico, é possível a integração de todas as informações.

Com a superposição dos planos de informação foram somadas as notas atribuídas às variáveis de cada uma das células da matriz. É atribuído o mesmo peso para todas as variáveis.

As matrizes (M) são então somadas algebricamente, gerando o Mapa de Áreas Aptas Para Ocupação Urbana em Vargem Pequena, cuja gradação cromática reflete o grau de aptidão (Ap) das áreas para a ocupação, de acordo com os critérios definidos:

$$Ap = M_A + M_B + M_C + M_D$$

Onde:

A - cobertura

B - declividade

C - solos

D - corpos hídricos

5.

Síntese da avaliação

Na análise são verificadas as variáveis de cada atributo dos espaços livres de acordo com a sua maior ou menor adequação para fins de ocupação urbana. Esta verificação qualifica os espaços livres para a avaliação, que consiste na atribuição de valores que privilegiam para a ocupação urbana os espaços que melhores condições apresentam sob o ponto de vista geotécnico e cuja ocupação evita o dano aos ecossistemas. A avaliação aponta, por outro lado, a preservação dos espaços livres que colaboram para a manutenção dos processos naturais do lugar, como áreas sensíveis à exploração e ocupação urbana.

A soma das informações, ou seja, dos valores atribuídos a cada célula em cada uma das matrizes, gera uma camada síntese, representada por uma escala cromática que corresponde às faixas de valores obtidos. Esta escala cromática vai do verde mais escuro ao vermelho.

As áreas cuja classificação resulta mais baixa, ou seja, menos aptas para ocupação, recebem a cor verde. As áreas que somam as melhores condições para ocupação recebem a cor vermelha. Em mapas de avaliação de riscos a cor vermelha representa usualmente áreas de risco ou restrição, e a cor verde a ausência de riscos.

A justificativa para a escolha dessa convenção de cores, não usual em mapas de avaliação, é que neste experimento o verde está associado à vegetação e ao ambiente natural, e o vermelho à edificação, como ocorre muitas vezes em projetos de construção. A **Figura 18** representa o Mapa de Áreas Aptas para Ocupação em Vargem Pequena, que expressa o resultado final da avaliação.

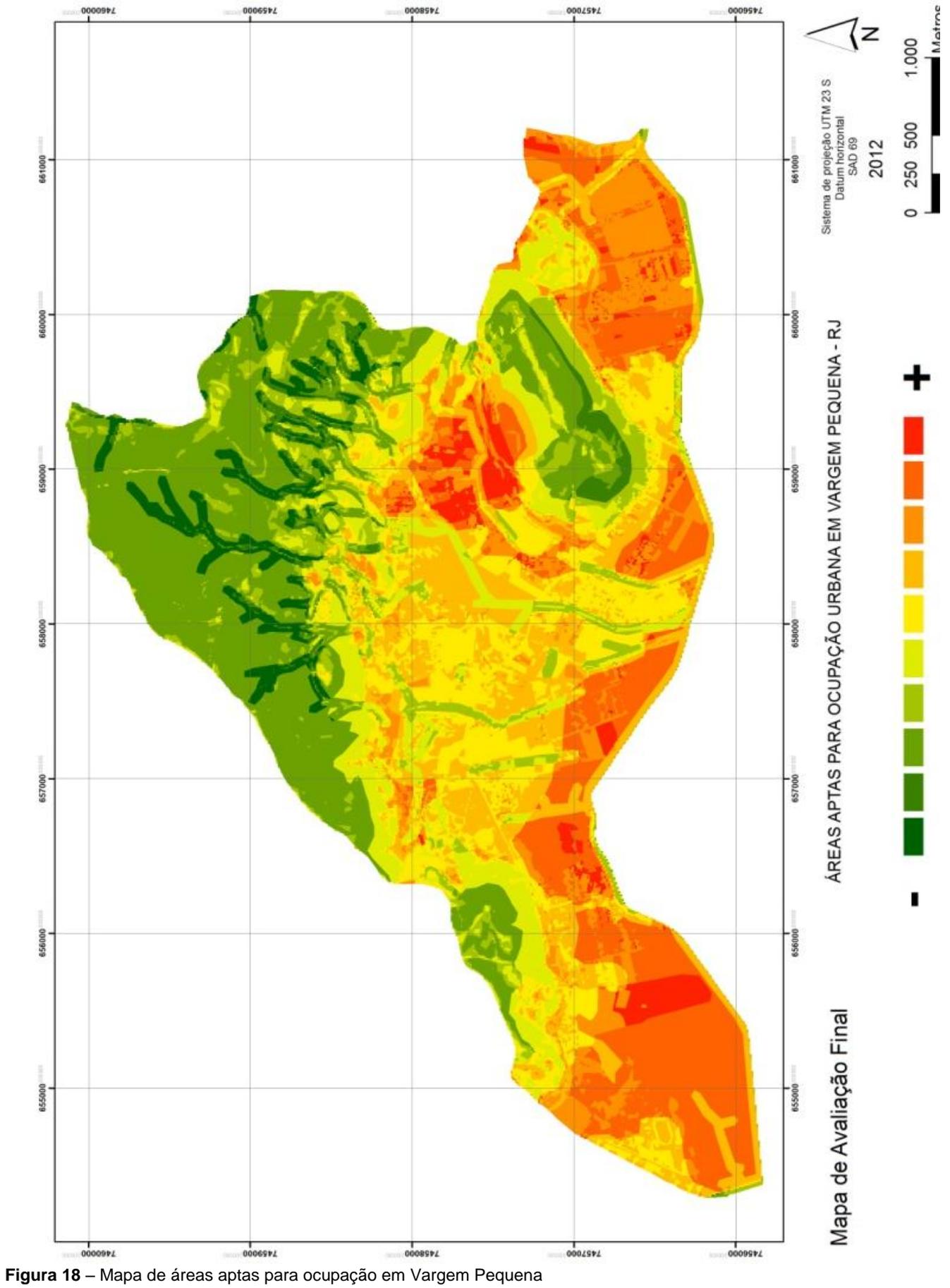


Figura 18 – Mapa de áreas aptas para ocupação em Vargem Pequena

Para que o Mapa de Áreas Aptas para Ocupação em Vargem Pequena possa exprimir uma gradação mais expressiva da maior ou menor adequação das áreas para ocupação urbana, adotam-se dez níveis de avaliação. Esta gradação, entretanto, estabelece basicamente três tipos de áreas: as áreas aptas; as áreas não aptas; e as áreas condicionadas. Estas últimas poderiam receber ocupação a partir de determinadas condições. Com o auxílio da tecnologia, é possível atuar de forma a evitar o dano aos ecossistemas e o risco geotécnico no processo de ocupação. O **Quadro 3**, sintetiza, em uma primeira abordagem, as principais características e potencialidades de uso dos tipos de área classificados.

QUADRO 3 – Avaliação Final

Escala de aptidão		Características	Potencialidades de uso
Áreas aptas		<p>Áreas sem vegetação expressiva ou com solo exposto, declividades menores que 8,5°, solos não sujeitos à inundação ou com possibilidade de receber drenagem adequada. Ocorrência de Neossolo (GRU), Gleissolo, Organossolo háplico.</p>	<p>Desenvolvimento urbano de média densidade, áreas de recreação.</p>
Áreas de conflito		<p>Áreas com vegetação modificada e elementos fragmentados da vegetação matriz, declividades menores que 8,5°, áreas de vargem ou com eventos de inundação. Ocorrência de Planossolo e Neossolo (GRU).</p>	<p>Agricultura, reflorestamento, recreação, espaços de conectividade da vegetação matriz, zonas livres em áreas residenciais, desenvolvimento urbano de baixa densidade.</p>
Áreas não aptas		<p>Áreas de florestas, com altas declividades, acima da cota 100 ou a menos de 30m das margens de rios, proximidades de nascentes, possibilidade de movimentos de massa agravada por desflorestamento. Ocorrência de Latossolo, Argissolo, Chernossolo e Organossolo Tiomórfico.</p>	<p>Zonas verdes institucionais, espaço de procriação de fauna, atividades florestais e de reflorestamento, recreação, zonas livres em áreas residenciais.</p>

No estudo e gestão dos recursos naturais adota-se usualmente, como unidade de planejamento, a bacia hidrográfica, que configura uma divisão geográfica natural, definida pelo relevo e drenada superficialmente por um curso d'água principal e seus afluentes. Este não é o critério adotado aqui por duas razões. Em primeiro lugar, observa-se que a área de estudo não constitui uma bacia no sentido clássico do termo, pois muitos cursos d'água deságuam em uma grande área plana e inundável, sendo suas águas drenadas, em parte subsuperficialmente, pelo canal do Portelo, que define o limite sul do bairro. Mesmo os rios mais significativos como o Vargem Pequena, Cancela e Calemba, não têm um curso d'água expressivo ou condições de relevo que os caracterizem como cursos d'água principais. Em segundo lugar, há necessidade de restringir geograficamente a área de estudo a um contexto para o qual haja informações disponíveis, georreferenciadas, na escala adequada, e que sejam provenientes de fontes confiáveis, dada a impossibilidade de se proceder a um levantamento de dados mais rigoroso, por se tratar de um trabalho individual e de curto prazo.

O esforço representado pelo mapeamento de cobertura, a partir da interpretação de uma imagem bastante atualizada do bairro, fornece muitas informações sobre a área de estudo, preenchendo lacunas importantes. A classificação da cobertura consiste basicamente na interpretação da imagem, tendo como parâmetro de leitura o conceito de espaços livres como sistema. A escala do trabalho, 1:2.000, permite um entendimento detalhado do suporte físico da área e conduz a muitos questionamentos acerca do processo de ocupação e da forma como a urbanização interage com o suporte natural. Tais questionamentos muitas vezes chegam a desviar o foco objetivo da pesquisa, levando a experimentos com os recursos do GIS - conexões, superposições, etc. – para apreender as múltiplas informações contidas na imagem. Entretanto, esta é uma etapa bastante proveitosa do trabalho.

A escolha da escala, além do propósito de construir uma base para o desenvolvimento de um projeto urbano a nível cadastral, pretende ainda aplicar a metodologia interdisciplinar original em uma escala maior, tirando partido dos recursos do GIS na análise e avaliação espacial dos atributos biofísicos do território.

Um dos atributos biofísicos mais significativos para o resultado da pesquisa é o solo, devido à quantidade e qualidade de informações objetivas reunidas no banco de dados sobre este atributo. Aos dados do PEDOGEO, foram acrescentadas informações valiosas obtidas em trabalhos sobre a correlação pedologia-geotecnia. Por depender a avaliação dos solos do conhecimento detalhado dos demais componentes da paisagem, como o relevo, a hidrologia e a vegetação, seu estudo leva naturalmente a uma visão holística dos elementos que compõem o ambiente natural, o que constitui a essência deste tipo de investigação.

Um aspecto a ser destacado, por sua influência nos resultados obtidos, é que o mapeamento do PEDOGEO não classifica uma vasta área (30,77ha), que no mapa da EMBRAPA é identificada apenas como área urbana. No cruzamento dos dados avaliados, a camada solo não soma nenhum valor neste espaço específico. Isto certamente reflete no resultado final, uma vez que os dados relativos ao solo constituem a base da pesquisa. Os valores atribuídos aos dados biofísicos relativos a padrão de cobertura, relevo e hidrologia compensaram apenas em parte esta falta. Pode-se deduzir que lacuna no mapa do PEDOGEO deve-se à escala utilizada pela EMBRAPA, 1:10.000, voltada a um levantamento que abrange todo o Município.

Uma inconsistência no mapa de avaliação, que ressalta a importância de intensos levantamentos em campo, é a área ilustrada na **Figura 19**. A área, situada no centro do bairro, não soma nenhum valor na camada solo. Na camada declividade apresenta boas condições geotécnicas. Na camada cobertura é classificada como área de vegetação modificada com alguns elementos de vegetação matriz. Apenas na camada corpos hídricos apresenta restrição em razão da possibilidade de inundação e da faixa de 30 m da margem dos rios. Na realidade trata-se de uma vasta área de vargem cortada pelo Rio Cancela. Suas características biofísicas e situação geográfica favorecem a conectividade dos sistemas existentes na encosta sul do Maciço da Pedra Branca com aqueles remanescentes na planície inundável à jusante do Rio Cancela. A rigor esta área deve ser totalmente preservada. As **Figuras 20 e 21** mostram esta mesma área vista a partir da Estrada dos Bandeirantes.

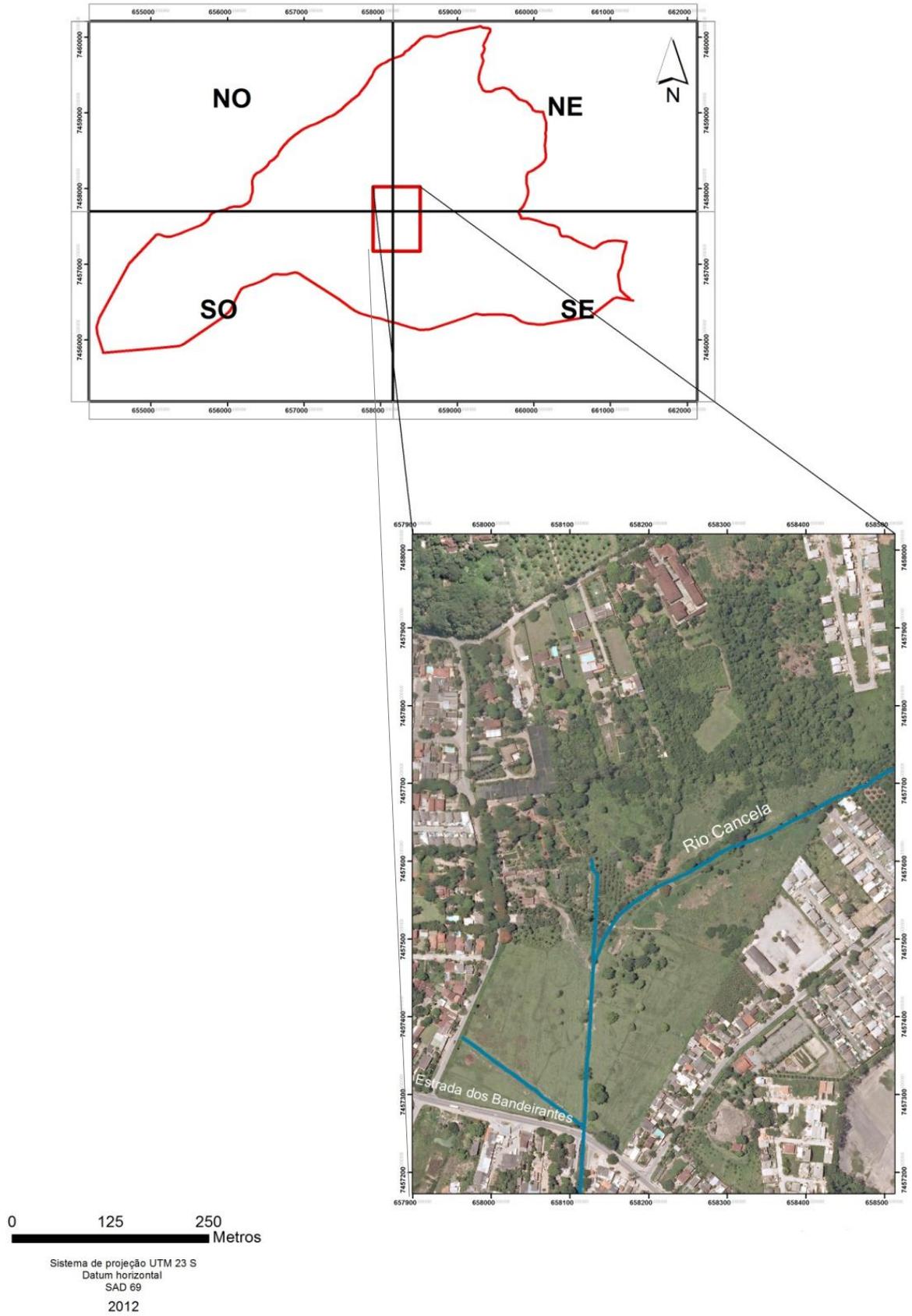


Figura 19 – Espaço livre no centro do bairro de Vargem Pequena.



Figura 20 – Espaço livre e Rio Cancela em Vargem Pequena



Figura 21 – Espaço livre e Maciço da Pedra Branca, em Vargem Pequena.

Nesse experimento, é possível observar que a declividade prevaleceu sobre outras variáveis em algumas situações. Neste caso a lógica utilizada na operação entre matrizes, de simples soma algébrica, teve provável influência nos resultados. Em trabalhos futuros é possível utilizar uma lógica um pouco mais apurada para a complexidade ambiental, como a Média Ponderada ou a lógica *Fuzzy*, nas quais além das notas são atribuídos pesos às variáveis.

Este tipo de inconsistência também se verifica no mapa em áreas situadas acima da cota 100, onde o sistema indica áreas de conflito em relação à aptidão para ocupação, quando, a rigor, estas áreas devem ser excluídas da classificação de cobertura e da avaliação. Neste caso específico, o sistema fez a leitura de pequenos trechos da encosta - sem vegetação e com características pedológicas e geotécnicas favoráveis - como áreas de possível ocupação. A interpretação da imagem indicou que, na realidade, estas áreas são clareiras, causadas por desmatamentos para o plantio de bananeiras, prática comum em algumas áreas do Maciço da Pedra Branca. Essa prática abre espaço para uma possível ocupação irregular no futuro, além de causar evidentes prejuízos ao ecossistema. O dado positivo é que o sistema desempenhou uma função de monitoramento, embora isto não esteja no escopo inicial da pesquisa.

As áreas classificadas inicialmente como área edificada, área pavimentada, estacionamentos, e logradouros, foi depois unificada como área urbanizada. Essa decisão deve-se a que o nível de detalhamento obtido na classificação da cobertura, devido à escala adotada de 1:2.000, não poderia ser reproduzido a contento no âmbito da dissertação, embora esses detalhes possam ser perfeitamente visualizados e manuseados no computador. Entretanto, isto aponta a grande utilidade do trabalho realizado, que reúne inúmeros dados, qualitativos e quantitativos, sobre o suporte físico da área de estudo. Essas informações se encontram registradas no banco de dados sobre o bairro de Vargem Pequena, podendo ser utilizados em novas pesquisas.

6.

Conclusão

O mapa produzido com recursos de geoprocessamento mostra que os critérios biofísicos utilizados são pertinentes na caracterização da realidade espacial urbana para a gestão e o desenho da cidade. A escala do trabalho e o processo de classificação da cobertura permitem traçar um retrato consideravelmente atualizado e preciso da área urbanizada e dos espaços livres existentes no bairro.

O mapa final apresenta algumas inconsistências, causadas em parte pela falta de informações suficientes disponíveis sobre o suporte biofísico. A metodologia utilizada é simples e poderia ser melhorada em trabalhos futuros, por exemplo, aplicando uma lógica matemática mais adequada à complexidade ambiental, como a Média Ponderada ou a Lógica *Fuzzy*. Ao mesmo tempo, as informações biofísicas em campo seriam complementadas com o auxílio de especialistas.

Embora o marco teórico do urbanismo ecológico e o levantamento de dados técnicos acerca do meio ambiente tenham progredido muito nas últimas décadas, as informações objetivas disponíveis nesta área são ainda restritas. Em um primeiro momento, a experiência imediata poderia levar à conclusão de que essa falta ocorre mais acentuadamente em países ainda com muitos problemas a enfrentar, na direção de um desenvolvimento efetivo. No entanto, pela impressão de autores atuais da área de geoprocessamento, constata-se que em todo o mundo a pesquisa sobre o meio ambiente está apenas começando. Em um país com o patrimônio ambiental do Brasil, há uma grande necessidade de levantamentos adequados e processamento de informações acerca do ambiente natural.

Espera-se que esse trabalho possa contribuir, ainda que de forma limitada, com a prática da análise ambiental como etapa preliminar de planejamentos e projetos urbanos, bem como com a utilização do *Geographic Information System*, ao nível do usuário, como ferramenta corrente para profissionais da área, a exemplo do *Computer Aided Design*, cujo uso se encontra há muito tempo consolidado.

7.

Referências Bibliográficas

ANDERSON, Paul S (org). Princípios de Cartografia Básica – Série Princípios de Cartografia, Vol 9. Disponível em <<http://lilt.ilstu.edu/psanders/cartografia>>, acesso em 22/04/2012.

ANTUNES, F.S.; DE CAMPOS, T.M.P; POLIVANOV, H.; CALDERANO, S. B.; ANDRADE, A. G. Desenvolvimento de classes e unidades geo-pedológicas a partir da interação entre a pedologia e a geotecnia. Texto submetido para publicação em abril de 2012. Revista Geotecnia: Lisboa.

BARNES, John W.; LISLE, Richard J. Basic Geological Mapping. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd., 2004.

BENEVOLO, Leonardo. História da Cidade. São Paulo: Editora Perspectiva, 2005.

BERGER, Paulo. As Freguesias do Rio Antigo vistas por Noronha Santos. Rio de Janeiro: Empresa Gráfica O CRUZEIRO, 1965.

BROEK, Jan. Geography, Its Scope and Spirit. Tradução de Waltensir Dutra. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1972.

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. Conceitos Básicos da Ciência da Geoinformação. In: Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>, acesso em 29/04/2012.

CAPEL, Horacio. La Morfologia de las ciudades. I. Sociedade, cultura e paisaje urbano. Barcelona: Ediciones del Serbal, 2002.

COSTA, Lucio. Lucio Costa: registro de uma vivência. São Paulo: Empresa das Artes, 1995.

COSTA, Nadja Maria Castilho da; SILVA, Jorge Xavier da. Geoprocessamento Aplicado à Criação de Planos de Manejo: O Caso do Parque Estadual da Pedra Branca – RJ. In: SILVA, Jorge Xavier da, ZAIDAN, Ricardo Tavares (org.). Geoprocessamento e Análise Ambiental: aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

DRUCKER, Peter F. Fator Humano e Desempenho São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.

HIGUERAS, Ester. Urbanismo Bioclimático. Barcelona: Gustavo Gili, 2006.

HOUAISS, Antônio. Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa. Instituto Antonio Houaiss. Rio de Janeiro: Editora Objetiva, 2009.

HOUGH, Michael. Cities & Natural Process – A basis for sustainability. London and New York: Routledge, 2006.

HOWARD, Ebenezer. Cidades-Jardins de Amanhã. São Paulo: Hucitec, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. (Série Manuais Técnicos em Geociências, n. 1).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Manual Técnico de Pedologia. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. (Série Manuais Técnicos em Geociências, n. 4).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Manual Técnico de Geomorfologia. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. (Série Manuais Técnicos em Geociências, n. 5).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Vocabulário Básico de Recursos Naturais e Meio Ambiente. Rio de Janeiro: IBGE, 2004.

JACOBS, Jane. Morte e vida de grandes cidades. Rio de Janeiro: Martins Fontes, 2000.

KAMITA, João Masao. A janela do mundo: A arte no renascimento. In: Modernas tradições: percursos da cultura ocidental séculos XV-XVII. Berenice Cavalcante et al. Rio de Janeiro: Acess, 2002.

LAMAS, Jose M. Ressano Garcia. Morfologia Urbana e Desenho da Cidade. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2010.

LAMEGO, A. R. Setores da Evolução Fluminense. O Homem e a Guanabara. Rio de Janeiro: IBGE, 1964. (Série A “Livros”, n. 5).

LILLESAND, Thomas M., KIEFER Ralph W. Remote sensing and image interpretation. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2000.

LUMBRERAS, J. F.; GOMES, J. B. V. (Ed.). Mapeamento pedológico e interpretações úteis ao planejamento ambiental do Município do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Aracaju: Tabuleiros Costeiros, 2004. Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/publicacao.html>>, acesso em: 25 fev. 2010.

LYNCH, Kevin. A boa forma da cidade. Lisboa: Edições 70, 1999.

LYNCH, Kevin. A Imagem da Cidade – São Paulo: Martins Fontes, 1997.

McHARG, Ian L. Proyectar con la naturaleza -Barcelona: Gustavo Gili, 2000.

MELA, Alfredo. A sociologia das cidades. Lisboa: Editorial Estampa, 1999.

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MENDONÇA-SANTOS, M. L. B. et al. Correlação pedológico-geotécnica do município do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/publicacao.html>>, acesso em 16/03/2012.

MONTEZUMA, Rita de Cássia Martins. Clareiras de deslizamentos e transformação da paisagem: o efeito sinérgico de pequenos distúrbios. In: RUA, João (org.). Paisagem, Espaço e Sustentabilidades: Uma perspectiva multidimensional da Geografia. Rio de Janeiro: Editora PUC-Rio, 2007.

MONTEZUMA, Rita; OLIVEIRA, Rogério. Os ecossistemas da Baixada de Jacarepaguá e o PEU das Vargens. Arqutextos, São Paulo, Vitruvius, 2010. Disponível em <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arqutextos/10.116/3385>>, acesso em 17/07/2011.

MORRIS, A. E. J. Historia de La forma urbana. Desde sus orígenes hasta la Revolución Industrial. Barcelona: Gustavo Gili, 2001.

MOURA, Ana Clara M. Geoprocessamento na Gestão e Planejamento Urbano. Belo Horizonte: Edição da autora, 2005.

NETZBAND, Maik; STEFANOV, William Louis; REDMAN, Charles L. (Eds). Applied remote sensing for urban planning, governance and sustainability. New York: Springer, 2007.

OLIVEIRA, Rogério Ribeiro de. Sustentados pela floresta: populações tradicionais e a Mata Atlântica. In: RUA, João (org.). Paisagem, Espaço e Sustentabilidades: Uma perspectiva multidimensional da Geografia. Rio de Janeiro: Editora PUC-Rio, 2007.

OLMSTED, Frederick L. Civilizing American Cities: Writings On City Landscapes. Cambridge: Da Capo Press, Inc., 1997.

PINHEIRO, Eduardo da Silva; KUX, Hermann Johann Heinrich. Análise & validação modelos digitais do terreno num setor de relevo escarpado da Mata Atlântica - RS, área teste: CPCN Pró-Mata. In: Anais XI SBSR (Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto), Belo Horizonte, Brasil, 05-10 abril 2003, INPE, p. 365-372.

REGO, Luiz Felipe Guanaes. O uso de sistemas de informações geográficas para o estudo do espaço geográfico. In: RUA, João (org.). Paisagem, Espaço e Sustentabilidades: Uma perspectiva multidimensional da Geografia. Rio de Janeiro: Editora PUC-Rio, 2007.

REGO, Luiz Felipe Guanaes. Automatic land-cover classification, derived from high-resolution IKONOS satellite image in the urban Atlantic forest in Rio de Janeiro, Brasil, by means of an objects-oriented approach. Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Brsg. Freiburg im Breisgau, April 2003.

RIO DE JANEIRO (Município) – Lei Complementar Nº 111 - Dispõe sobre a Política Urbana e Ambiental do Município, institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Sustentável do Município do Rio de Janeiro e dá outras providencias. Rio de Janeiro, 1 de Fev. 2011.

ROGERS, Richard. Cidades para um Pequeno Planeta. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2001.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. Princípios bioclimáticos para o desenho urbano. São Paulo: ProEditores, 2000.

SANTOS, Milton. Por uma Geografia Nova. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 2004.

SILVA, J. Romão da. Geonomásticos Cariocas de Procedência Indígena. Rio de Janeiro: Livraria São José, 1962.

SILVA, Jorge Xavier da, ZAIDAN, Ricardo Tavares (org.). Geoprocessamento e Análise Ambiental: aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

SPIRN, Anne W. Ecological Urbanism: A Framework for the Design of Resilient Cities, 2011. Disponível em: <<http://www.annewhistonspirn.com/author/essays>>, acesso em 14/05/2012.

SPIRN, Anne W. O jardim de Granito: A natureza no desenho da cidade. São Paulo: Edusp, 1995.

SPIRN, Anne W.; McHARG, Ian. Landscape Architecture, an Environmentalism: Ideas and Methods in Context. Washington: Dumbarton Oaks, 2000.

STILLWELL, John et al. Developments in Geographical Information and Planning. In: STILLWELL, John; GEERTMAN, Stan; OPENSHAW, Stan (eds).

Geographical Information and Planning: European Perspectives. Berlin: Springer, 1999.

TARDIN, Raquel. Espaços Livres: Sistema e Projeto territorial. Rio de Janeiro: 7letras, 2008.

THE EARTH AND MAN; a Rand McNally World Atlas. New York: Rand McNally and Company, 1972.

UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME (UN-Habitat). Planning Sustainable Cities: Global report on Human Settlements 2009. UK London; USA Washington DC; Earthscan, 2009.

Sites consultados:

<http://www.emeraldnecklace.org>, 2012.

<http://www.museumofthecity.org/exhibit/cities-futures-past/ebenezer-howards-garden-city>, 2012.

<http://www.wrtedesign.com/projects/detail/plan-for-the-valleys/134>, 2012.

<http://www.iiinstitute.nl/referencecases/rc-copenhagen-finger-plan>, 2012.

<http://www.york.ac.uk/environment/postgraduate/msc-dip-environmental-science-and-management/gis/>, 2012.

http://www.arts-humanities.net/wiki/gis_geographic_information_system_archaeology, 2012.

<http://www.google.com/earth>