

# Metodologia de avaliação do crescimento urbano aplicado ao mapeamento geotécnico em cidades costeiras

Sinval Cantarelli Xavier<sup>1</sup>, Cezar Augusto Burkert Bastos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Mestrando do Curso de Engenharia Oceânica – FURG, Rio Grande, RS –  
sinval.xavier@pelotas.com.br*

<sup>2</sup>*Departamento de Materiais e Construção – FURG, Rio Grande, RS –  
bastos@dmc.furg.br*

**RESUMO:** O artigo aborda a integração em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) de dados sobre a evolução temporal do espaço urbano como forma de determinar preliminarmente ao mapeamento geotécnico os padrões de crescimento em cidades costeiras, os quais cruzados com outros dados, tais como as áreas de vazios urbanos e os condicionantes físicos e legais, permitem delimitar as áreas de maior potencial de expansão, reduzindo esforços no detalhamento e análise das propriedades geotécnicas dos solos, seu uso e ocupação. Descreve a metodologia empregada em um estudo de caso para a cidade de Pelotas/RS.

**PALAVRAS-CHAVE:** mapeamento geotécnico; crescimento urbano; sistema de informações geográficas.

**ABSTRACT:** This paper approaches the integration of data about the evolution of the urban area through time in a GIS (Geographical Information System) environment, as a way of determining the growth patterns in coastal cities prior to geotechnical mapping. These patterns, when crossed with other data, such as the empty urban areas and the physical and legal aspects, allow the determination of the areas with highest potential for urban expansion, reducing efforts in the research and analysis of the geotechnical properties of the soils. The used methodology is described in a case study for the city of Pelotas/RS.

**KEYWORDS:** geotechnical mapping; urban growth; geographical information system

## 1. INTRODUÇÃO

O trabalho propõe uma metodologia para um estudo simplificado da morfologia urbana em cidades costeiras, objetivando a determinação dos padrões de crescimento urbano e a delimitação de áreas sujeitas à ocupação futura, com vistas à realização de mapeamento geotécnico e indicação dos usos mais adequados com relação às características físicas e ambientais dos solos. Para estudo de caso foi escolhida a cidade de Pelotas/RS, a qual esta expressamente arrolada no Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro II [1] como um dos municípios estuarinos-lagunares abrangidos pela faixa terrestre da zona costeira.

A metodologia proposta não se baseia no desenvolvimento de modelos complexos de simulação de crescimento urbano, e sim na integração e interpretação de dados sobre a evolução temporal do espaço urbano e sua situação presente, sobretudo imagens, mapas e dados cadastrais, de forma a possibilitar, com o auxílio de um Sistema de Informações Geográficas – SIG, a determinação simplificada dos padrões de crescimento urbano e o mapeamento das áreas de potencial expansão urbana. Para tanto, foi criada uma série histórica que permitisse a identificação de padrões, direções e sentidos da dinâmica espacial urbana, ou seja, os vetores de crescimento urbano. Estes foram posteriormente cruzados com a atual conformação das ocupações e dos vazios urbanos, e com os condicionantes físicos e legais do crescimento da cidade, a fim de delimitar e restringir ao máximo as áreas objeto de detalhamento e análise geotécnicas, com vistas ao mapeamento geotécnico da área urbana do município.

Com a aplicação da metodologia foram mapeados 54 km<sup>2</sup> de área urbana sujeita a ocupação futura, que corresponde a 47% das áreas livres da cidade, resultando com isso em uma diminuição considerável das áreas que devem ser analisadas em relação às características geotécnicas e aptidão de usos.

## **2. CRESCIMENTO URBANO**

A urbanização, enquanto processo em que a população urbana cresce em proporções maiores que a rural, é um fenômeno moderno que surgiu com a industrialização e desenvolvimento econômico. Espacialmente, a urbanização se materializa, entre outras formas, no crescimento urbano por extensão e/ou por densificação. O primeiro caracteriza-se pela incorporação de áreas de uso não urbanos para o uso urbano e o segundo pelo aumento na intensidade de utilização do solo urbano – por verticalização, por exemplo - de áreas já disponíveis como urbana, sem a necessidade de incorporação de áreas novas (Rigatti, [9]). O estudo dos processos e padrões da dinâmica espacial urbana tem sido um desafio para a ciência. Conforme Polidori [6] importantes esforços tem sido empreendidos no campo teórico da configuração urbana para melhorar a compreensão sobre os mecanismos de produção e reprodução das cidades, tais como as idéias vinculadas ao desenvolvimento desigual, à auto-organização e aos estudos sobre sistemas complexos. Na mesma direção, estudos de centralidade como medida morfológica de diferenciação espacial, têm sido utilizados para representar a cidade através de seus espaços construídos.

Diversos são os esforços da pesquisa contemporânea, envolvendo variados campos do conhecimento, para modelar e simular o crescimento urbano. Polidori [6], por exemplo, utiliza conceitos derivados da ciência do espaço, modelos urbanos, teorias de sistemas e ecologia da paisagem, bem como pela instrumentação propiciada pela Teoria dos Grafos, dinâmica celular autômata, geocomputação e SIG (Sistemas de Informações Geográficas), para desenvolver modelo de simulação do crescimento urbano que integre fatores urbanos, naturais e institucionais.

Fora do campo da modelagem e simulação de cenários futuros, o crescimento urbano pode ser estudado através da integração e interpretação de dados da evolução temporal da mancha urbana e de sua situação presente, em contraposição aos vazios urbanos e aos condicionantes físicos e legais do crescimento. Desta forma, imagens, mapas e dados cadastrais integrados e analisados em ambiente SIG permitem determinar de forma simplificada os padrões de crescimento e as áreas potenciais para a expansão urbana.

### **3. DADOS ESPACIAIS**

Higashi [4] afirma ser necessário, no mínimo, determinar a mancha urbana em três diferentes e significativas épocas. Contudo, esse valor mínimo não pode ser absoluto devendo, logicamente, depender da complexidade e da extensão do tecido urbano. Por conseguinte, entende-se que para determinadas localidades a retratação da conformação urbana em apenas três períodos históricos pode ser insuficiente para uma análise confiável da evolução urbana. Preferencialmente, deve ser utilizada a maior quantidade de dados possíveis, gerando uma série histórica representativa, sem o que, é preferível a não realização do processo e o tratamento de todas as áreas contíguas ao tecido urbano da mesma forma, e em um mesmo nível de detalhamento.

Ressalta-se que o tratamento da evolução em termos de mancha urbana é uma simplificação da análise que pode ser estendida para níveis maiores de desagregação das informações, podendo-se, inclusive, utilizar mais de um nível de desagregação, desde que respeitada a escala de compatibilidade para cada tipo de dado espacial utilizado.

Cuidado especial deve ser dado à precisão espacial dos dados, pois ao utilizar-se, por exemplo, cartas e mapas em escalas muito pequenas para representar um determinado período temporal, estes limitarão a precisão espacial da análise, de nada adiantando o uso de dados em maior escala para outros períodos. Sendo assim, deve-se buscar e sempre dar preferência a dados com a maior precisão espacial possível, mesmo que, para alguns, a escala tenha de ser reduzida para se atingir uma homogeneidade na precisão geométrica e espacial.

O formato dos dados é outro fator importante. Em se tratando de dados espaciais, podem estar disponíveis dados tanto em formato raster (matricial) como vetorial, e embora se possa trabalhar com ambos os formatos dentro de um SIG, dados em um mesmo formato representam maior capacidade de integração. Desta forma, em alguns casos, pode ser necessária, ou pelo menos conveniente, a conversão de formatos.

Considerando-se a capacidade de integração entre dados vetoriais e tabulares oferecidas pelos SIGs e a possibilidade de espacialização das diversas variáveis relacionadas as geometrias, trabalhar com dados no formato vetorial pode significar uma maior potencialidade na manipulação e análise dos dados. Portanto, deve-se dar preferência a este tipo de formato, convertendo-se sempre que possível do formato raster para o formato vetorial.

Para integração dos dados é necessário que estes estejam perfeitamente georreferenciados e dentro de um mesmo sistema de coordenadas cartográficas.

Dentre as diversas fontes de dados que podem ser (conforme a disponibilidade) utilizadas para o mapeamento da evolução espacial urbana, podem ser citados os mapas cadastrais, as plantas de loteamentos, as fotografias aéreas, as imagens de satélite, entre outras fontes de dados.

#### **3.1. Mapas cadastrais**

Representações gráficas bidimensionais (analógicas ou digitais) dos principais elementos definidores do tecido urbano, tais como ruas, quadras, praças e outros espaços públicos, os mapas ou plantas cadastrais são, em geral, documentos de acervo de órgãos públicos municipais, podendo representar a morfologia da cidade em diversos períodos históricos. As figuras 1 e 2 mostram, como exemplo, os mapas cadastrais de Pelotas dos anos de 1835 e 1882.

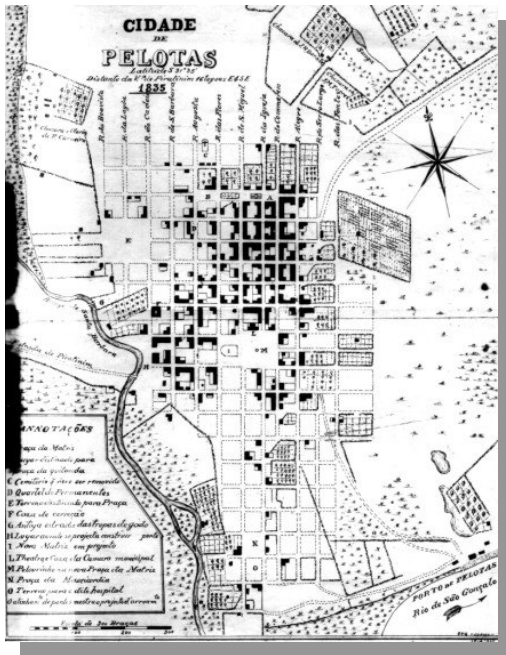


Figura 1: Mapa cadastral – Pelotas 1835



Figura 2: Mapa cadastral – Pelotas 1882

### 3.2. Plantas de loteamentos

Os loteamentos são um tipo de parcelamento do solo resultante da divisão de gleba em lotes, destinado à edificação, com abertura de novas vias de circulação, de logradouros públicos ou prolongamento, modificação ou ampliação das vias existentes (2º Plano Diretor de Pelotas, [7]).

As prefeituras, além de muitas vezes atuarem como loteadoras, são responsáveis pela análise, aprovação e liberação dos loteamentos. Esta função faz, em geral, com que as mesmas disponham de um acervo de mapas e plantas dos loteamentos públicos e privados, os quais, organizados de maneira cronológica, pode ser uma excelente fonte de dados relativos à evolução espacial urbana.

### 3.3. Fotografias aéreas

Normalmente oriundas de levantamentos aerofotogramétricos, as fotografias aéreas são muito usadas para atualização da cartografia urbana e para o planejamento urbano. Muitos municípios de médio e grande porte possuem levantamentos aerofotogramétricos, mas infelizmente seu alto custo inviabiliza sua aquisição pela grande maioria dos pequenos municípios. As aerofotos podem ser agrupadas em blocos sem emendas, gerando assim uma imagem única do perímetro urbano (mosaico).

Em escalas diferentes, que variam de acordo com a altura do vôo e a distância focal da câmera utilizada, as aerofotos podem servir tanto para o mapeamento em pequenas quanto grandes escalas. Embora possam ser usadas como base para mapeamentos, deve-se atentar que as fotografias aéreas guardam várias e importantes diferenças em relação aos mapas cadastrais, em especial em relação ao sistema projetivo, geralmente ortogonal nos mapas

cadastrais e cônicos nas fotografias. Por ser uma projeção cônica, as fotografias aéreas deformam no sentido radial a partir do centro da fotografia (o efeito é maior quanto menor for à altura do vôo). Assim, quanto mais alto for o objeto em relação a um plano médio da fotografia, maior será a distorção da imagem do mesmo. Soma-se a isso o fato de que a altura do vôo nunca é constante, apresentando variações ao longo de uma linha de vôo, que somadas as variações de relevo, representam variações nas escalas das fotografias. Logo, deve-se ter especial atenção à precisão espacial dos mosaicos de fotografias aéreas e determinar-se uma escala de representação compatível com tais distorções. A redução dos efeitos da distorção e da variação de escala das fotografias pode ser obtida através de um processo de correção diferencial, no qual as fotografias aéreas são transformadas em ortofotos (processo de ortorretificação).

No processo de georreferenciamento do mosaico ou das aerofotos (necessário à integração dos dados) sobre uma base cartográfica ou outra imagem de coordenadas e precisão geométrica e espacial conhecidas, pode-se determinar a escala de compatibilidade destes.

### **3.4. Imagens de satélite**

As imagens de satélite são excelentes fontes de dados para avaliações de fenômenos temporais. Os satélites utilizados para observação da Terra são de órbita polar ou quase-polar, circular e heliossincronas, ou seja, viajam do pólo norte para o pólo sul com ângulo de inclinação igual ou próximo de 99 graus em relação ao Equador, sincronizados com o Sol há uma distância quase constante da Terra. Tais características permitem que o satélite passe sobre uma região diferente da Terra a cada rotação, voltando a passar sobre uma mesma área em um período de tempo denominado período de revista. A revista possibilita a aquisição de imagens periódicas da região, permitindo a análise de fenômenos temporais, tais como as mudanças morfológicas de uma cidade. O período de revista varia para cada satélite e está relacionado com a altura de sua órbita. Em geral os satélites utilizados para observação de fenômenos urbanos, são os de baixa e média altitude.

No que tange as propriedades de uma imagem de satélite, e especialmente tratando-se de análise urbana, uma merece destaque. Trata-se da resolução espacial da imagem, que mede a menor separação angular e linear entre dois objetos imageados. A resolução espacial é fator determinante da precisão cartográfica dos produtos derivados de uma imagem, como, por exemplo, as cartas e os mapas. Tratando-se de análise da evolução urbana, as escalas de mapeamento dos diferentes estados morfológicos da cidade irão depender diretamente das resoluções espaciais das imagens empregadas. Também tem que ser considerados os níveis de processamento e correção que foram aplicados na imagem, tais como a correção radiométrica, correção geométrica de sistema, correção geométrica por pontos de controle e correção geométrica baseada em modelos digitais de elevação (ortorretificação). Desta forma a compatibilidade cartográfica de uma imagem varia em função da resolução espacial ou geométrica do sensor e dos níveis de correção empregados na imagem.

Considerando-se que as imagens de satélite disponíveis para análise urbana são relativamente recentes e que, por conseqüência, não cobrem um período temporal suficiente para uma análise consistente das mudanças na morfologia urbana, estas não devem ser usadas como fonte exclusiva de dados e, por conseguinte, a escala de representação deve ser determinada em conjunto com os demais dados disponíveis.

A aquisição de imagens de satélite por parte das prefeituras e outros órgão ligados ao planejamento e pesquisas ambientais e urbanas tem aumentado consideravelmente. Para uma grande gama de usos as imagens representam um custo muito pequeno, principalmente se

comparado ao custo dos levantamentos aerofotogramétricos. As imagens do satélite sino-brasileiro CBERS 2 e CBERS 2B são disponibilizadas gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. Desta forma, atualmente existe uma grande facilidade de acesso a imagens de satélites para estudo da evolução urbana.

### **3.5. Outras fontes de dados**

A morfologia de uma cidade pode ser extraída de outras fontes de dados tais como as cartas planimétricas e planialtimétricas do Serviço de Cartografia do Exército Brasileiro - CAEX ou os mapas temáticos estaduais, fornecidos pela Diretoria de Geociências – DGC do IBGE, as primeiras com grau de detalhamento e escala de representação bem melhores do que os últimos. Para os municípios do Rio Grande do Sul estão disponíveis as cartas planialtimétricas da CAEX na escala 1:50.000.

## **4. PADRÕES ESPACIAIS DO CRESCIMENTO URBANO**

O crescimento urbano pode ocorrer tanto de forma compacta (*dense-onion*) como dispersa (*leapfrog*). A compactação manifesta-se predominantemente no núcleo urbano, através do aumento do parcelamento do solo e da verticalização. Diferentemente, o padrão de crescimento disperso é observado, sobretudo, na expansão das periferias (Fuckner, [3]). Em geral, ambos os processos acontecem simultaneamente no espaço urbano. Diversos são os fatores e variáveis que condicionam e dão direção e sentido ao crescimento urbano, como exemplo cita-se a legislação urbanística e ambiental, as políticas e investimentos públicos, os fatores sociais e econômicos, as condicionantes naturais, a infra-estrutura instalada, a distribuição espacial de serviços, comércios, indústrias, e zonas residenciais, etc. Construir cenários de crescimento futuro de uma cidade implica em desenvolver modelos complexos de simulação que considerem os diferentes fatores e variáveis envolvidas na dinâmica urbana, o que está além da metodologia utilizada neste trabalho. De outra forma, modelos simplificados de padrões de crescimento da mancha urbana, como a forma radial e a estrelar citadas por Higashi [4], em geral, por excesso de simplificação, não retratam corretamente as formas e sentidos da evolução espacial urbana.

## **5. METODOLOGIA**

A metodologia proposta, ao passo que esta longe do desenvolvimento de modelos de simulação, também ultrapassa o simples uso de sobreposição de manchas urbanas de diferentes épocas e análises sob padrões de crescimento pré-estabelecidos. Trata-se de utilizar variados tipos e formas de dados espaciais, de diversas fontes, em diferentes níveis de desagregação, criando séries históricas a fim de determinar os vetores de crescimento passado, confrontando-os com a situação atual da ocupação urbana, em especial os vazios urbanos, e com os condicionantes físicos e legais do crescimento, de forma a delimitar áreas de potencial ocupação futura e reduzir esforços de mapeamento e análise geotécnica.

### **5.1. Sítio de aplicação**

A metodologia foi aplicada à cidade de Pelotas/RS (figura 3), a qual esta expressamente arrolada no Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro II [1] como um dos municípios estuarinos-lagunares abrangidos pela faixa terrestre da zona costeira.

Embora Pelotas situe-se em uma área de transição entre duas regiões com características fisiológicas diferentes e bem definidas, a saber, o Planalto Sul-Riograndense, também chamado de Escudo Cristalino e a Planície Costeira Sul-Brasileira (IBGE, [5]), sua maior porção, incluindo a zona urbana, localiza-se em terrenos de tipologia costeira (terraços lagunares). A Planície Costeira, que é uma das quatro províncias morfológicas do Estado (Carraro *et al.*, *apud*. Tagliani e Vicens, [13]), localiza-se entre os paralelos de 29° 18' e 33° 48' de latitude Sul ocupando uma faixa adjacente ao Oceano Atlântico, com 650 km de extensão por cerca de 70 km de largura média. É marcada por terrenos planos, de cotas baixas (menos de 40m de altitude), formados por sedimentos inconsolidados (areias, siltes e argilas). Sob influência de eventos de transgressão e regressão marinhas, que formaram ambientes, entre outros, de terraços lagunares retrabalhados pelo mar (Silva *et al.*, [12]).

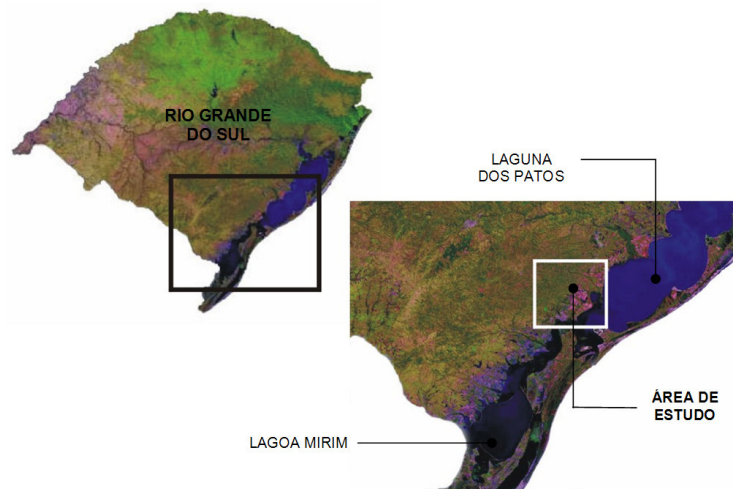


Figura3: Localização da área de estudo

Segundo Rosa [10] além de fazer parte da porção estuarina da Laguna dos Patos, sob vários outros aspectos Pelotas pode ser considerado um município litorâneo. Primeiro por estar, em parte, inserido na Planície Costeira, segundo por sofrer as influências dos ventos marinhos em seu clima, e por último por fazer parte de “um verdadeiro litoral interno lacustre” do Rio Grande do Sul, formado pela Laguna dos Patos, cujas águas banham o município numa extensão de 40 km. O Oceano Atlântico e a Laguna dos Patos têm importante influência nos aspectos físicos e humanos do município.

## 5.2. Determinação dos vetores de crescimento urbano

Para determinar a direção e sentido do crescimento urbano da cidade foi utilizado como ponto de partida os dados provenientes do relatório final da pesquisa realizada por Silva [11] intitulada: A Forma Urbana em Pelotas: Evolução Morfológica e Análises Espaciais. Trata-se de uma análise da evolução morfológica urbana da cidade através do seu parcelamento de solo.

Os dados, levantados junto ao cadastro imobiliário da prefeitura, e utilizados no presente trabalho, são: mapas e plantas cadastrais, plantas de loteamentos, conjuntos habitacionais e ocupações irregulares. Na sua grande maioria trata-se de representações gráficas em formato matricial analógico, que foram escanizadas e posteriormente georreferenciadas e digitalizadas em ambiente CAD (*Computer Aided Design*). Cada um desses mapas e plantas gera uma poligonal, as quais, em conjunto, retratam o parcelamento e a ocupação do solo urbano em Pelotas ao longo de sua evolução histórica.

As plantas referentes ao parcelamento de solo, sob a forma de loteamento, conjuntos habitacionais e ocupações irregulares, somente foram encontradas a partir de 1922. Para o período anterior, de 1815 a 1922, a ocupação do solo foi levantada através da cartografia urbana existente nos arquivos da Secretaria de Urbanismo de Pelotas.

No total a pesquisa prospectou e catalogou dados de um período de 187 anos, de 1815 a 2002. Para o período posterior foi realizada para este trabalho uma nova prospecção de dados junto ao cadastro da prefeitura, complementando e atualizando os dados da pesquisa até o final do ano de 2007. No total foram levantados e digitalizados mais 10 loteamentos e 15 conjuntos habitacionais.

Somente foram utilizados os dados brutos da pesquisa de Silva [11], quais sejam, os *shapes* das poligonais dos parcelamentos de solo e dos mapas cadastrais, os quais foram reorganizados e reclassificados no *software* ArcView® de acordo com o objetivo traçado: obter as direções e sentidos do crescimento urbano na cidade de Pelotas. Para tanto, não era necessária à subdivisão do parcelamento de solo em loteamentos, conjuntos habitacionais e ocupações irregulares. Sendo assim, houve uma unificação das duas primeiras formas de parcelamento em um único tema: parcelamento do solo, o qual foi dividido em seis classes temporais, que em conjunto com as poligonais representativas dos quatro mapas cadastrais digitalizados indicaram os vetores de crescimento ao longo do tempo. Os dados referentes às ocupações irregulares foram descartados por estarem incompletos e devido a não ter sido possível estabelecer (em virtude de falta de dados nos cadastros da prefeitura) uma cronologia dos mesmos.

Para estabelecer as direções do crescimento da cidade o perímetro urbano foi dividido, a partir do centro histórico da cidade (praça Cel. Pedro Osório), em oito setores, correspondentes às orientações cardeais (Norte, Sul, Leste e Oeste) e colaterais (Nordeste, Noroeste, Sudeste, Sudoeste), tendo como seus limites as orientações subcolaterais Nortenordeste (22,5°), Leste-nordeste (67,5°), Leste-sudeste (112,5°), Sul-sudeste (157,5°), Sul-sudoeste (202,5°), Oeste-sudoeste (247,5°), Oeste-noroeste (292,5°) e Norte-noroeste (337,5°).

### 5.2.1. Crescimento histórico-espacial de Pelotas

A análise da espacialização e classificação dos dados no ArcView® resultou na percepção de que a cidade, desde seu núcleo inicial, cresceu conforme a seguinte seqüência histórica-espacial:

a) A partir de seu primeiro núcleo, correspondente hoje ao entorno da catedral São Francisco de Paula, Pelotas, entre os anos de **1815 e 1835**, cresce para o sul, em direção a canal São Gonçalo, em uma ocupação que a oeste segue o contorno das áreas de maior cota altimétrica, mas que a oeste já se principia por áreas mais baixas;

b) de **1835 a 1882** a cidade continua a crescer em direção ao São Gonçalo, mas o vetor de crescimento assume predominantemente a direção sudeste, aumentando à ocupação das áreas de baixa cota altimétrica;

c) de **1882 a 1916** houve uma continuidade do crescimento na direção sudeste e a cidade cresce até alcançar o limite correspondente ao canal São Gonçalo. Neste período surgem dois novos vetores, um na direção sudoeste, onde aumenta a ocupação de novas áreas baixas e outro na direção norte, seguindo as áreas mais elevadas (figuras 4 e 5);



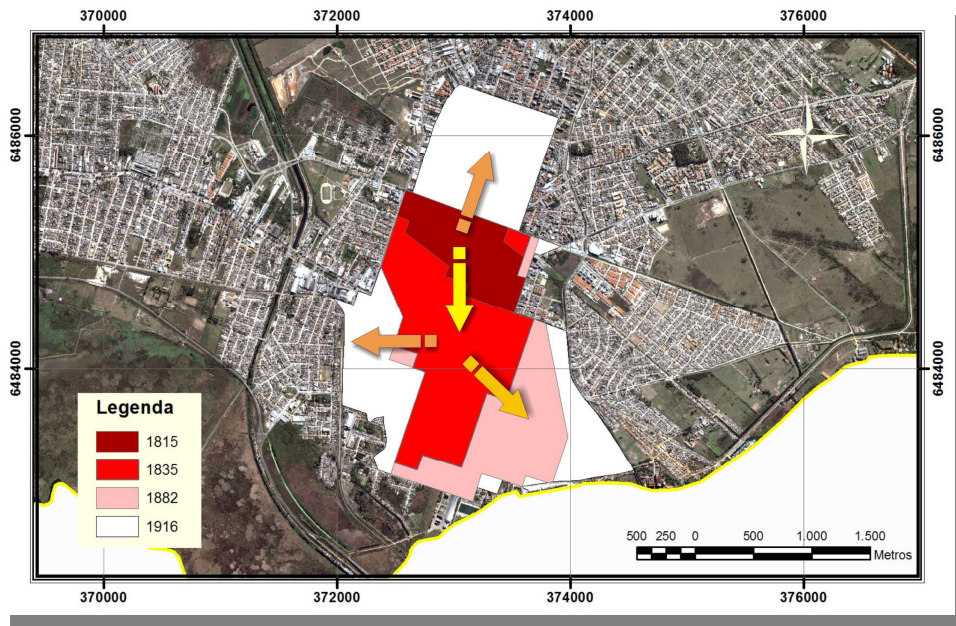


Figura 4: Pelotas – Vetores de crescimento urbano- 1815 a 1916

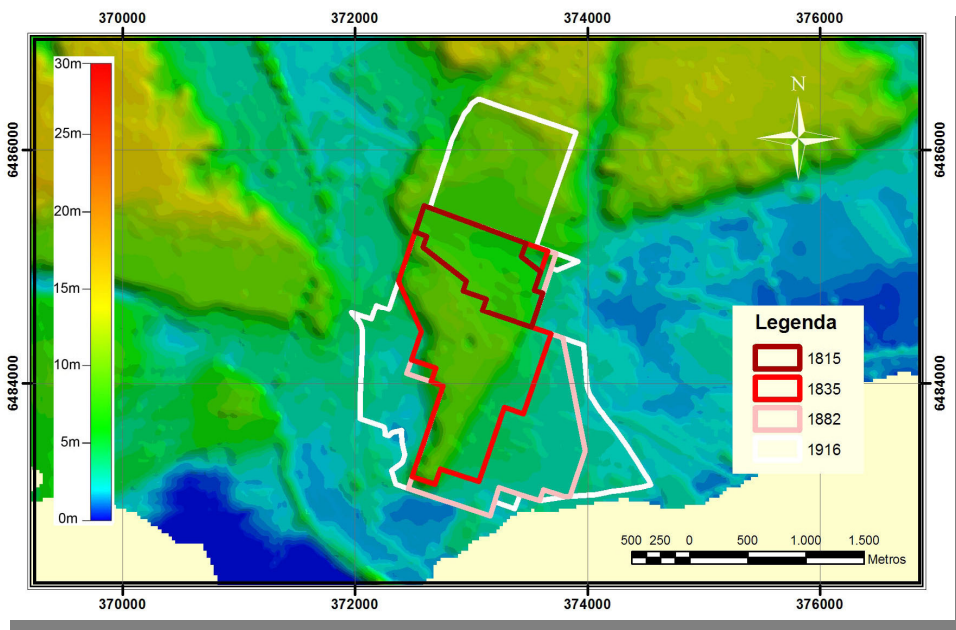


Figura 5: Pelotas – Vetores de crescimento urbano e relevo- 1815 a 1916

**d)** a partir do ano de 1922 começam a surgir os primeiros loteamentos periféricos de caráter popular. De **1922 a 1938** a cidade começa a crescer em duas novas direções: noroeste e nordeste, e continua a expandir-se para o norte. Pelotas começa a seguir um modelo de crescimento disperso no sentido predominante das áreas de maiores altimetrias;

**e)** de **1939 a 1956** houve um grande número de novos loteamentos periféricos, aumentando consideravelmente a área urbana, que se estendeu, em algumas direções, até o limite urbano atual. Caracterizam esse período: à volta da ocupação de novas zonas baixas junto à área central da cidade, nas direções leste e oeste; a intensificação da ocupação nordeste, com o surgimento de novos loteamentos contíguos aos implantados no período anterior, tendo a

avenida São Francisco de Paula como um dos principais eixos estruturadores deste crescimento; o aumento da extensão do crescimento a noroeste, configurando um eixo de crescimento ao longo da avenida Duque de Caxias; o surgimento das ocupações balneárias junto a Laguna dos Patos, com acesso pela avenida Adolfo Fetter, que marca a estruturação de um novo e forte vetor de crescimento na direção leste, o qual já se prenunciava com os loteamentos ao longo das avenidas Domingos de Almeida e Ferreira Vianna; o aparecimento de loteamentos populares ao norte, ao longo da avenida Fernando Osório (com continuidade pela BR 116), a uma grande distância do centro urbano, fortalecendo esse vetor de crescimento e estendendo desproporcionalmente os limites da cidade;

f) de **1957 a 1963** o crescimento urbano se caracteriza basicamente pela estruturação do vetor norte, surgindo novas ocupações entre o centro urbano e os distantes loteamentos implantados no período anterior. O principal eixo estruturador do crescimento neste período é a avenida Fernando Osório, seguido pelas avenidas República do Líbano, 25 de Julho e pela BR 116. A leste houve um aumento na ocupação balneária junto a Laguna dos Patos;

g) de **1964 a 1971** houve uma forte intensificação na ocupação nordeste ao longo a avenida Duque de Caxias e a consolidação do vetor leste com o surgimento de novos loteamentos entre as avenidas Domingos de Almeida e Ferreira Vianna, e de um grande loteamento na avenida de ligação com os balneários (avenida Adolfo Fetter);

h) o período de **1972 a 1988** se caracterizou pela ocorrência de novas ocupações na direção norte, tanto ao longo da avenida Fernando Osório (principal eixo estruturador desse crescimento), quanto ao longo das avenidas Zeferino Costa e Salgado Filho. A ocupação na direção leste também se intensifica, caracterizando um forte vetor de crescimento. A sudeste surgem novas ocupações em zonas baixas e alagadiças, protegidas por sistemas de bombas e pelo dique construído ao longo do canal São Gonçalo;

i) os loteamentos que surgiram no período de **1989 a 2006** não alteraram a configuração do crescimento urbano, confirmando as direções leste, norte e noroeste como principais vetores deste crescimento.

As figuras 6 e 7 mostram o crescimento urbano de Pelotas no período de 1916 a 2006.

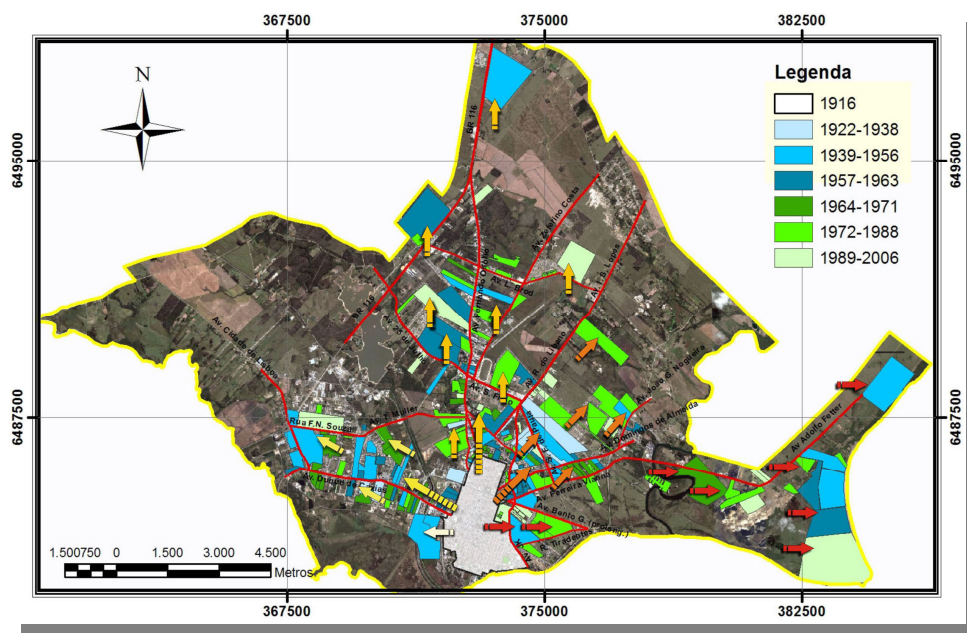


Figura 6: Pelotas – Vetores de crescimento urbano - 1916 a 2006

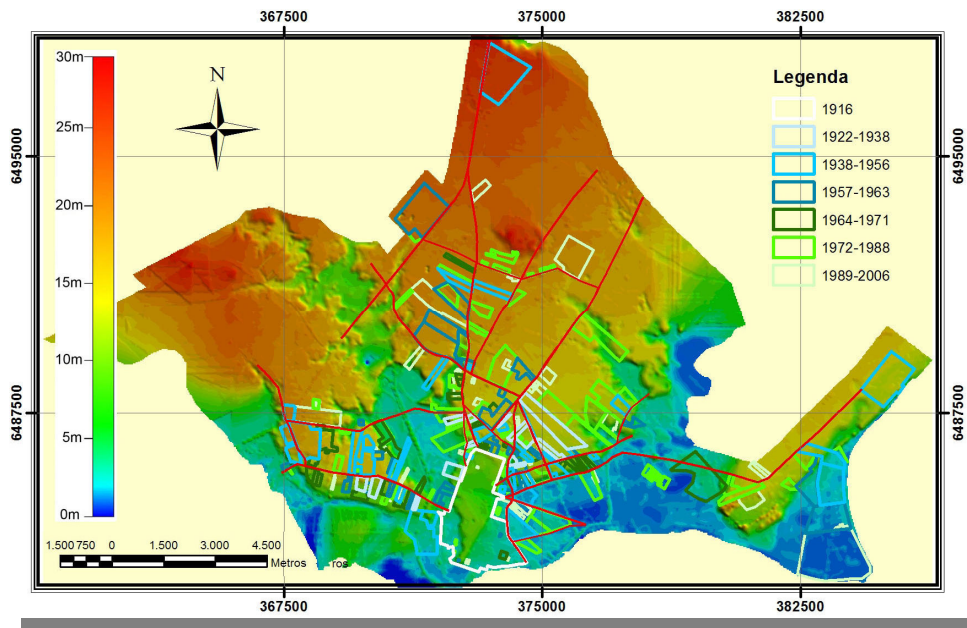


Figura 7: Pelotas – Crescimento urbano e relevo - 1916 a 2006

### 5.3. Vazios urbanos

Seguindo a metodologia proposta, foi realizado um mapeamento e a análise da atual situação da ocupação do solo na cidade. Obedecendo a regras pré-estabelecidas foram delimitadas as áreas ocupadas e as não ocupadas, sendo estas últimas convencionadas como “vazios urbanos”.

O mapeamento dos vazios urbanos, considerados áreas ociosas e/ou de especulação imobiliária, ganhou grande importância para os municípios com a entrada em vigor da lei 10.257/2001 - Estatuto das Cidades [2], que regulamenta os art. 182 e 183 da Constituição Federal e estabelece diretrizes gerais da política urbana. O Art. 5º do Estatuto prescreve que lei municipal específica para área incluída no plano diretor poderá determinar o parcelamento, a edificação ou a utilização compulsórios do solo urbano não edificado, subutilizado ou não utilizado, devendo fixar as condições e os prazos para implementação da referida obrigação.

Logo, para os municípios poderem aplicar tais instrumentos da política urbana, estes deverão, através de seus planos diretores, determinarem quais as áreas a eles sujeitas, e definir o que é por eles considerado solo urbano não edificado, subutilizado e/ou não utilizado. No caso específico de Pelotas, durante os trabalhos de elaboração do projeto de lei do 3º Plano Diretor [8] foram estabelecidos como não edificados, subutilizados ou não utilizados os imóveis com área territorial superior a 1.000 m<sup>2</sup> sem edificação ou edificado, mas com índice de aproveitamento igual ou inferior a 1% do terreno, e todo o perímetro urbano como área sujeita a aplicação dos institutos do parcelamento, edificação ou utilização compulsórios,.

Sendo assim, tornou-se fundamental a identificação e mapeamento destes imóveis, tendo sido gerado um mapa de vazios urbanos através do cruzamento de dados vetoriais (representação vetorial dos lotes urbanos), dados tabulares (cadastro imobiliário da Prefeitura de Pelotas), e dados raster (imagem de satélite), onde foram identificados e mapeados a quase totalidade dos imóveis cadastrados que se enquadravam nas definições pré-estabelecidas e as áreas não cadastradas (em geral grandes glebas de terra incorporadas à zona urbana da cidade pelo aumento de seu perímetro).

Analisando o desenvolvimento e o resultado do mapeamento realizado para o Plano Diretor e, principalmente, sua adequação ao presente trabalho, concluiu-se que apesar de mapear com relativa exatidão uma boa parte dos imóveis urbanos considerados não edificadas, subutilizados e ou não utilizados, existia um considerável número de erros gerados principalmente em virtude do cadastro imobiliário estar desatualizado e pela imagem de satélite disponível na época (do ano de 2002). Além disto, o mapeamento incluía um grande número de imóveis isolados, que não constituíam “vazios urbanos” no sentido de áreas propícias ao “crescimento territorial urbano” (ênfase deste trabalho). Desta forma, entendeu-se por bem depurar e atualizar o mapeamento realizado para o Plano Diretor utilizando como base uma nova imagem de satélite adquirida pela Prefeitura de Pelotas (do ano de 2006), para, além de corrigi-lo e qualificá-lo, adequá-lo melhor aos propósitos deste trabalho. Esta tarefa foi realizada seguindo as seguintes etapas:

**a)** Em ambiente CAD, utilizando técnica de *overlay*, foram sobrepostos os vetores dos imóveis mapeados pelo trabalho anterior (Plano Diretor), a totalidade dos vetores dos lotes urbanos cadastrados, a delimitação vetorial das áreas não cadastradas e a imagem de 2006 do satélite QuickBird (conforme figura 8 abaixo);

**b)** Foram excluídos dos imóveis mapeados aqueles que na imagem apresentavam edificações com área construída aproximada (calculada sobre a própria imagem) maior do que 1% da área territorial;

**c)** Foram incluídos, após cruzamento com os dados cadastrais, novos imóveis com área territorial superior ou maior a 1.000 m<sup>2</sup> que na imagem apareciam como territorial ou com área construída menor do que 1% da área territorial e que não faziam parte do mapeamento anterior;

**d)** Foram excluídos do novo mapeamento imóveis que, mesmo atendendo aos critérios de áreas, se situavam geograficamente isolados e não representavam vazios urbanos significativos quando analisados sobre o ponto de vista do crescimento urbano;

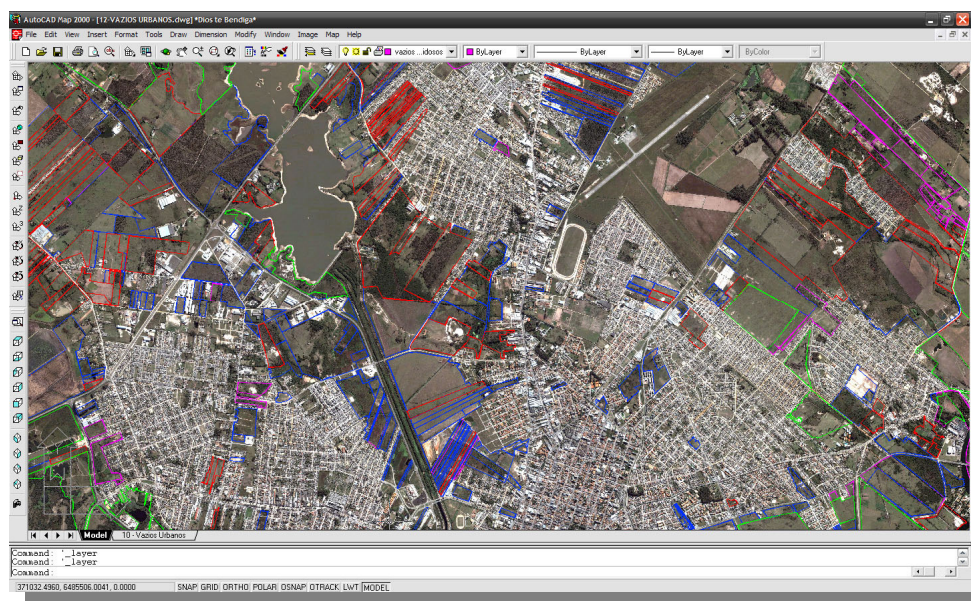


Figura 8: Captura de tela AutoCad® – Lotes urbanos classificados como subutilizados não edificadas ou não utilizados.

e) Foi realizada uma seleção de imóveis contíguos com áreas individuais inferiores a 1.000 m<sup>2</sup>, sem área edificada ou com esta menor do que 1% da área territorial, e que, independente de pertencerem ou não ao mesmo proprietário, representavam vazios urbanos;

f) Foram mapeadas, por subtração das áreas cadastradas e reconhecimento visual sobre a imagem de satélite, as áreas de vazios urbanos não cadastradas;

g) Os polígonos de cada uma das classes imóveis foram importados no ArcView®, transformados em *shapes files*, os quais, por sua vez, foram importados para o *Personal Geodatabase* (banco de dados pessoal do ArcView®) como *Feature Class* (classe de feição) dentro do *Feature Dataset* criado para esse tema, e denominado VAZIOS URBANOS. Sendo assim, foram criadas três classes temáticas com os seguintes conteúdos: 1) áreas não cadastradas; 2) lotes sem área construída; 3) lotes com área construída menor do que 1% em relação à área do lote (conforme figura 9 seguinte);

h) As fronteiras entre lotes e áreas contíguas, em cada uma das classes, foram eliminadas (dissolvidas, conforme a terminologia do ArcView®) criando-se três novas classes temáticas;

i) Estas três classes temáticas foram unidas em uma única classe representativa do total dos vazios urbanos (conforme figura 10);

j) Foi realizada uma operação de subtração entre o polígono (*Feature Class*) representativo do perímetro urbano e o dos vazios urbanos, resultando em um polígono (*Feature Class*) representativo da mancha urbana (conforme figura 11);

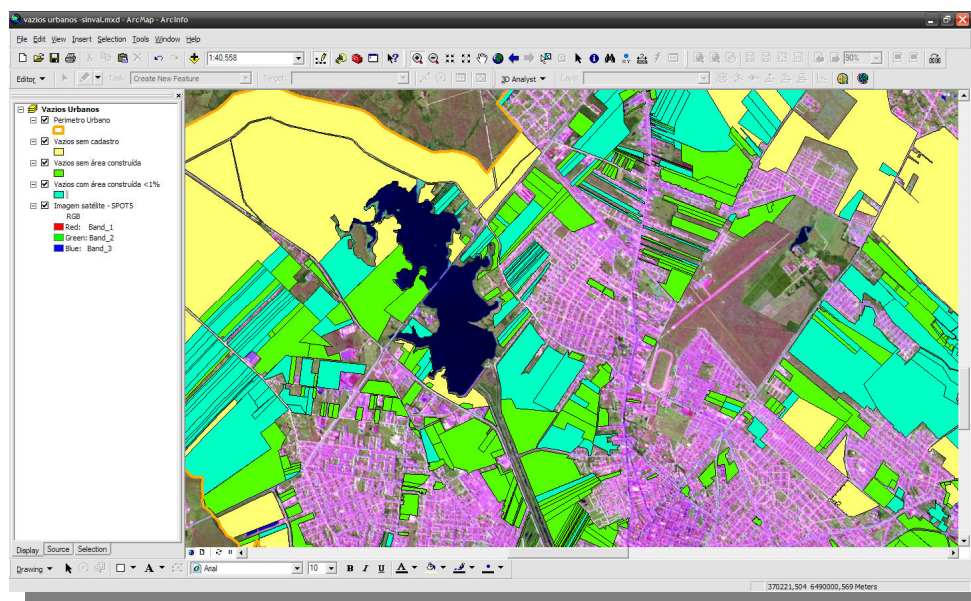


Figura 9: Captura de tela ArcView® – Classes temáticas representativas dos vazios urbanos

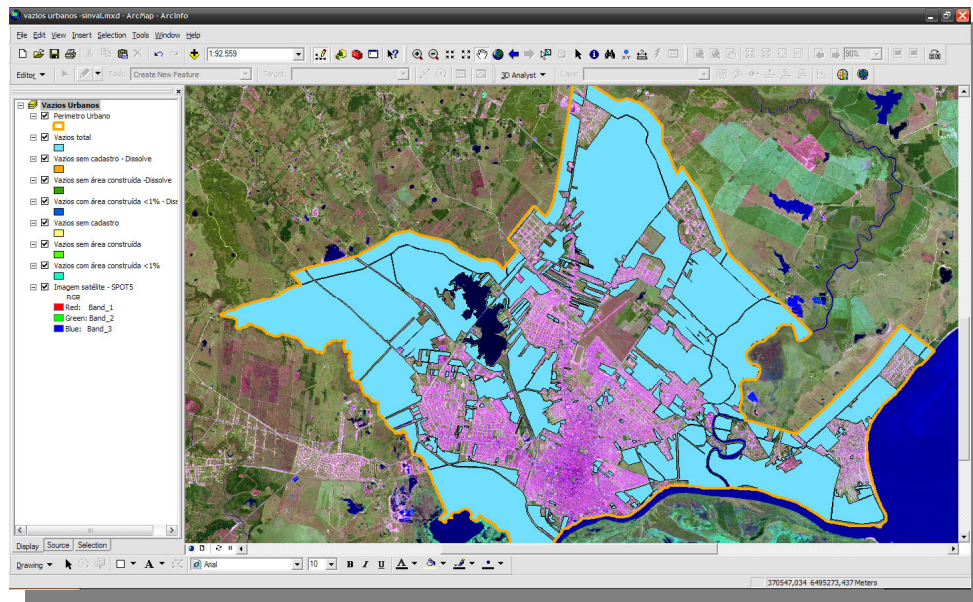


Figura10: Captura de tela ArcView® – União de classes temáticas

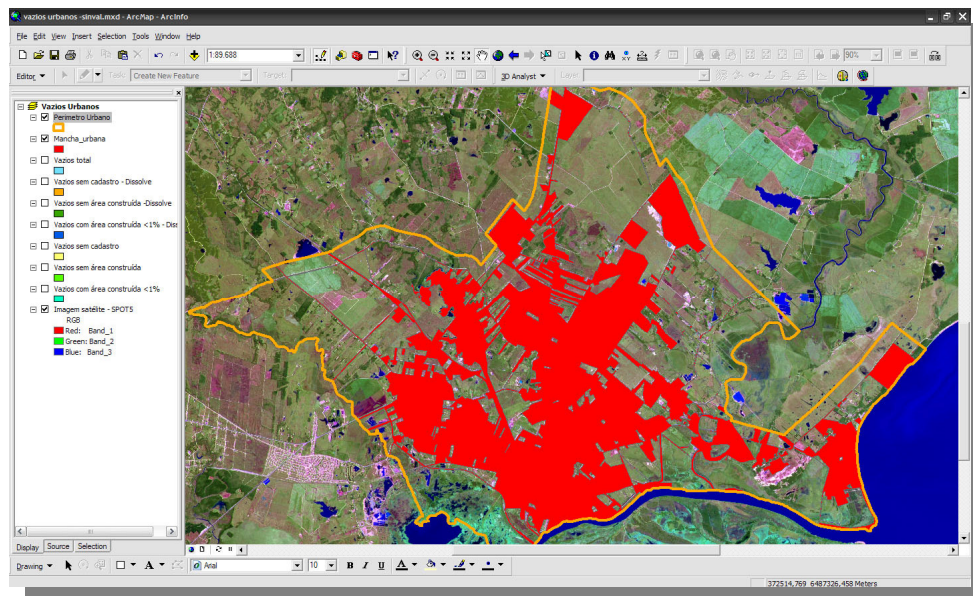


Figura 11: Captura de tela ArcView® – Classe temática representativa da Mancha Urbana

#### 5.4. Condicionantes físicos e legais

Nesta etapa da metodologia foram analisados e mapeados os condicionantes físicos e legais da ocupação urbana. O instrumento legal utilizado como base para estas e outras análises foi o projeto de lei do 3º Plano Diretor de Pelotas, pois embora este ainda seja um projeto em tramitação no Legislativo local, se transformará na legislação que irá reger o uso e ocupação

do solo urbano da cidade no futuro próximo. Além disto, o projeto do 3º Plano Diretor foi construído em cima da atual conformação morfológica da cidade, considerando os atuais e diversos processos da dinâmica urbana pelotense, e o Plano Diretor em vigor, com mais de 20 anos de existência, esta totalmente em dessintonia com essa dinâmica.

Há também que se considerar que o projeto do novo Plano levou em conta diversos condicionantes físicos e que, por conseqüência, a análise de um elimina a necessidade da análise dos outros.

O projeto de lei estabelece diversas áreas especiais de interesse, as quais em face de suas características e interesses públicos delas decorrentes passam a ser objeto de tratamento especial, através de definição de normas de ocupação diferenciada e a criação de mecanismos de gestão para desenvolvimento de ações. Entre estas áreas, duas interessam particularmente: Áreas Especiais de Interesse do Ambiente Natural e as Áreas de Ocupação Restrita.

As Áreas Especiais de Interesse do Ambiente Natural (AEIAN) são aquelas que apresentam peculiaridades ecológicas, sendo observados relevo, hidrologia, solo, fauna, flora e ocupação humana, caracterizando estas condições como biodiversidade local. Tais áreas apresentam diferentes níveis de proteção, com restrição ou limitação ao uso do solo e preservação de seus recursos naturais, com usos proibidos ou limitados, manejo controlado com áreas destinadas preferencialmente à pesquisa científica, ao lazer, à recreação, aos eventos culturais, ao turismo e à educação.

As Áreas Especiais de Interesse do Ambiente Natural são divididas, para fins de classificação, nas seguintes categorias:

Área Especial de Interesse do Ambiente Natural (AEIAN) Pública;

Área Especial de Interesse do Ambiente Natural (AEIAN) Particular;

Área de Preservação Permanente (APP) Ocupada;

Área de Preservação Permanente (APP) Degradada;

Área Ambientalmente Degradada (AAD).

Áreas de Ocupação Restrita, não foram definidas pelo projeto do Plano, que atribui ao poder público municipal através de lei ordinária, quando constatada a saturação dos equipamentos e serviços públicos, identificá-las. Sendo assim, não podem ser objeto de estudo.

O mapeamento e inclusão no banco de dados geográfico dos dados referentes às Áreas de Especiais de Interesse do Ambiente Natural definidas pelo projeto do Plano partiu dos arquivos em formato AutoCad® que geram o mapa que faz parte do projeto de lei, o qual foi cedido pela Prefeitura Municipal. Em ambiente CAD os arquivos foram depurados e preparados para importação no ArcView®, com a criação e/ou fechamento de poligonais e criação de arquivos por temas.

No ArcView®, os arquivos CAD contendo os polígonos de cada tema foram importados e convertidos para o formato *shape file* e estes, por sua vez, foram importados no banco de dados geográficos como *Feature Class* dentro do *Feature Dataset* criado para este tema. A figura 12 mostra as classes temáticas das AEIA;

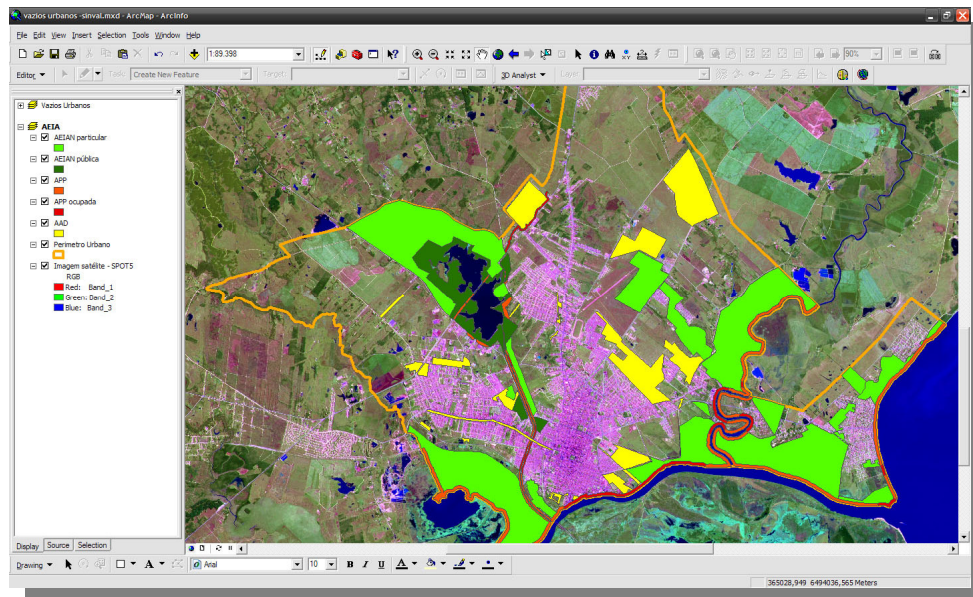
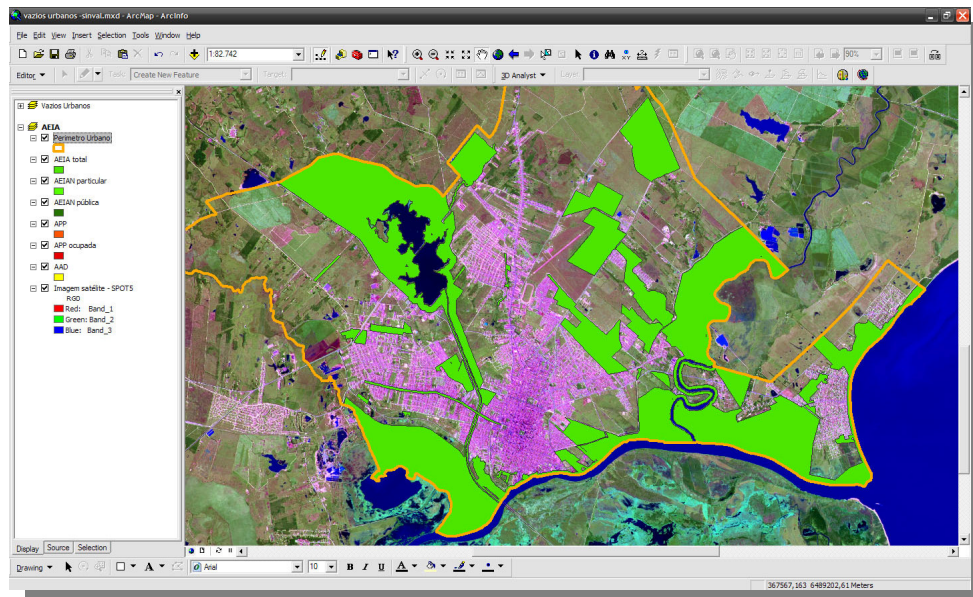


Figura 12: Captura de tela ArcView® – Classes temáticas: AEIA

Logo após, as cinco classes foram unidas em uma única, correspondente a totalidade das AEIAN nas quais a ocupação é restrita e/ou controlada (conforme figura 13).



13: Captura de tela ArcView® – Classe temática: AEIA total.

### 5.5. Cruzamento de dados

Nesta etapa foi realizado o cruzamento entre os dados resultantes das três etapas anteriores, quais sejam: vetores de crescimento, vazios urbanos e áreas com ocupação restrita devido a condicionantes físicos e legais.



Primeiro foram reunidas, em um mesmo *Data Frame*, as *Feature Class* correspondes a totalidade dos vazios urbanos, a totalidade das AEIA e os vetores de crescimento.

Logo após, foi subtraída da classe Vazios Urbanos Totais a classe AEIAN Totais, resultando uma terceira classe representativa das áreas de vazios urbanos que efetivamente poderão vir a ser ocupados. Esta classe, somada aos vetores de crescimento indicam as áreas da cidade passíveis de ocupação futura (conforme figura 14).

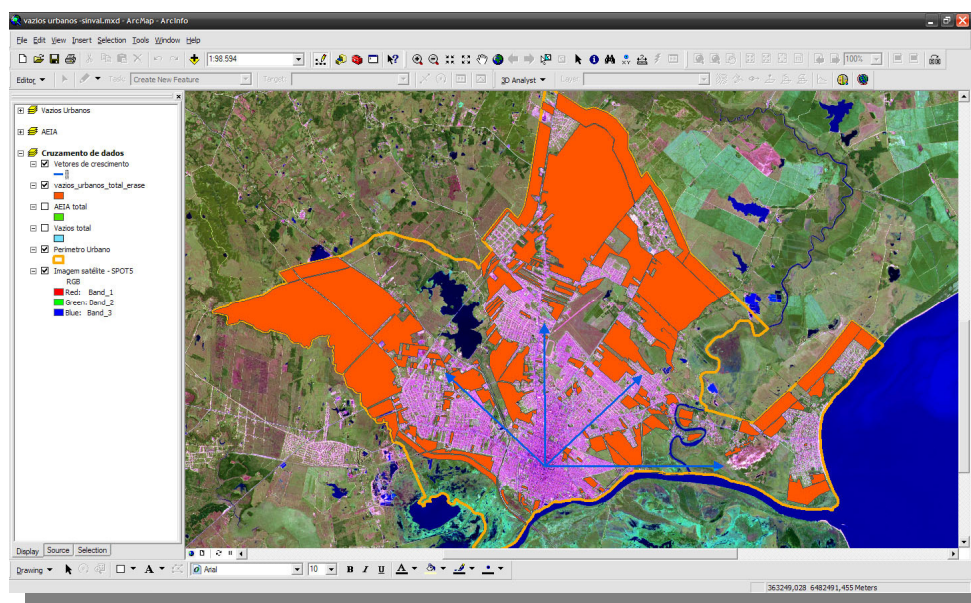


Figura 14: Captura de tela ArcView® – Vazios urbanos e vetores de crescimento

## 5.6. Exclusão de áreas

Logicamente, a ocupação ou não destas áreas obedece a diversos outros fatores, que não só o sentido de crescimento ou a simples disponibilidade de áreas. Questões como as da infraestrutura (pública ou privada) e do valor da terra, são determinantes na ocupação de determinadas áreas em detrimento de outras. Mas a mensuração completa destes fatores é complexa e não se compatibiliza com uma metodologia de simples cruzamento e análise de dados.

Mas é possível excluir algumas áreas de ocupação pouco provável em um futuro próximo, como por exemplo: as de difícil acesso e de pouca infra-estrutura urbana instalada, as muito afastadas do centro e das facilidades urbanas, as que ainda guardam um caráter rural, mesmo estando compreendidas no perímetro urbano. Tais áreas podem ser delimitadas por diversos tipos de levantamentos e análises sobre variados tipos de dados. No caso presente, baseado na análise das imagens de satélite e no conhecimento sobre o território e sobre parte da dinâmica urbana da cidade, foram mapeadas áreas que se enquadravam nas condições acima.

Assim, determinadas as áreas a serem excluídas, foi criado no ArcView® uma classe a elas correspondentes, a qual foi posteriormente subtraída da classe anterior, criando uma nova classe (conforme figura 15).

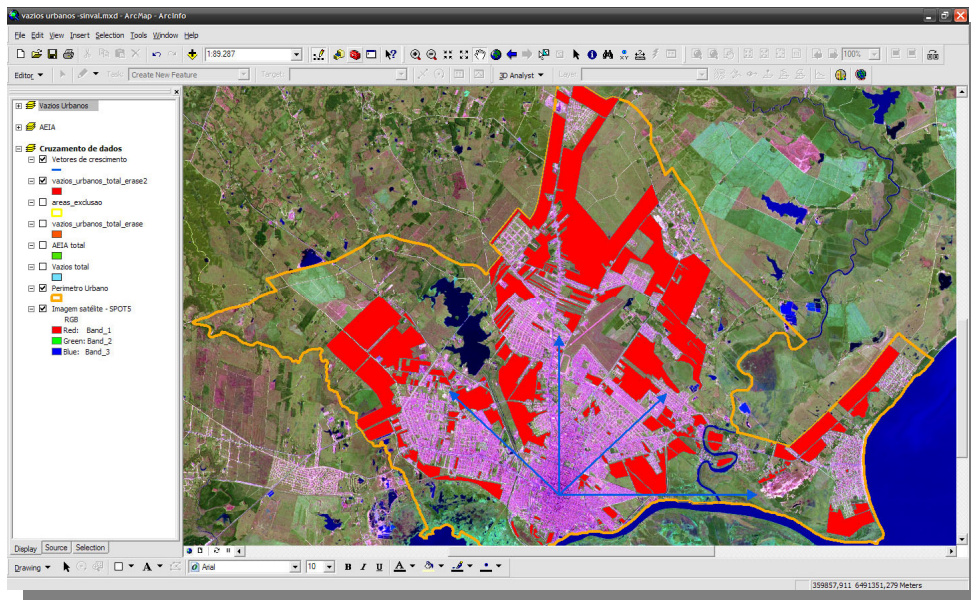


Figura 15: Captura de tela ArcView® – Vazios urbanos após exclusão de áreas

### 5.7. Simplificação dos dados

Em função da escala que será empregada no mapeamento geotécnico (que varia de acordo com a escala dos dados disponíveis), pode haver uma simplificação nas áreas mapeadas. Como os dados de solos e geologia disponíveis para a região de Pelotas, estão em uma escala pequena (1:100.000), áreas reduzidas e fragmentadas perdem a importância. Como consequência foram realizadas duas operações sobre as áreas resultantes:

- a) Eliminação dos pequenos vazios urbanos fragmentados e com áreas menores do que 100.000 m<sup>2</sup>;
- b) Agrupamento de diversos vazios urbanos contíguos em polígonos maiores, envolventes e geometricamente simplificados.

Estas operações foram realizadas em ambiente CAD, com operações de exportação e importação de dados com o ArcView®. O mapa final resultante (figura 16) representa as áreas de vazios propícias ao crescimento urbano e de interesse ao detalhamento e mapeamento geotécnico.

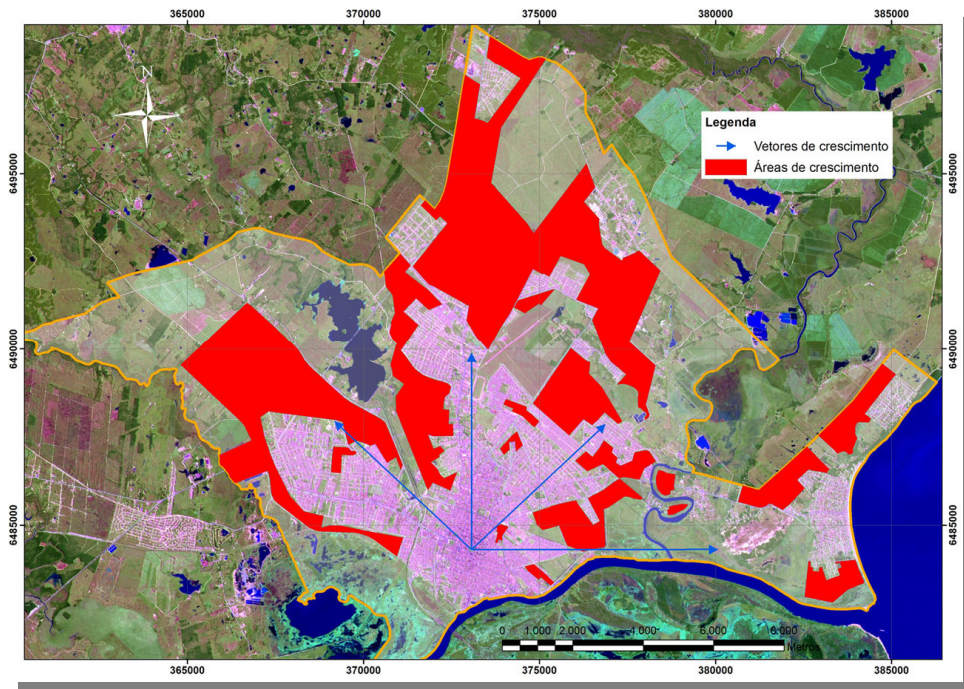


Figura 16: Mapa das áreas sujeitas ao crescimento urbano

## 6. CONCLUSÃO

A delimitação das áreas sujeitas a ocupação e uso devido ao crescimento urbano é eficaz como etapa prévia ao mapeamento geotécnico detalhado, reduzindo esforços e evitando análises desnecessárias em áreas de baixo potencial de ocupação.

Para tanto, pode ser utilizada uma metodologia simplificada que trabalhe com o cruzamento de dados que em geral fazem parte do acervo das prefeituras ou estão ao alcance destas. Diversos são os tipos de dados que podem ser utilizados para esta tarefa, sendo que o presente trabalho tratou de alguns deles sem, no entanto, ser exaustivo de todas as possibilidades.

Com a aplicação da metodologia foram mapeados 54 km<sup>2</sup> de áreas urbanas sujeitas a ocupação futura em Pelotas/RS. Considerando que a mancha urbana da cidade é de aproximadamente 77 km<sup>2</sup> (40% da área urbana) e que, portanto, Pelotas possui 115 km<sup>2</sup> de áreas vazias, o mapeamento realizado resultou na redução substancial (47%) das áreas a serem analisadas quanto às características geotécnicas e capacidades de uso, mostrando a utilidade e aplicabilidade da metodologia apresentada.

## REFERÊNCIAS

1. BRASIL. Lei 7.661 de 16 de maio de 1988. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências. Disponível em <www.senado.gov.br>. Acesso em 20 out. 2006.
2. BRASIL. Lei 10.257 de 10 de julho de 2001. Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e da outras providências. Disponível em <www.senado.gov.br>. Acesso em 20 out. 2006.
3. FUCKNER, MARCUS ANDRÉ. Aplicações do sensoriamento remoto no estudo do crescimento urbano. INPE—Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos

Campos, SP. Disponível em < [http://www.dsr.inpe.br/geu\\_fuckner.htm](http://www.dsr.inpe.br/geu_fuckner.htm)> . Acesso em: 20 de maio de 2008.

4. HIGASHI, A. R. Metodologia de uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras através de SIG com base no comportamento geotécnico e ambiental. Florianópolis, 2006. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
5. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Levantamento dos Recursos Naturais: Folha SH.22 Porto Alegre e parte das Folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim. Volume 33. Rio de Janeiro: IBGE, 1986.
6. POLIDORI, MAURICIO C. Crescimento urbano e ambiente – um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade. Porto Alegre, 2004. Tese (doutorado).. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-graduação em Ecologia.
7. PREFEITURA MUNICIPAL DE PELOTAS. Lei 2.565 de primeiro de setembro de 1980. Institui o II Plano Diretor de Pelotas. Disponível em <[www.pelotas.com.br](http://www.pelotas.com.br)>. Acesso em 20 maio de 2008.
8. PREFEITURA MUNICIPAL DE PELOTAS. Anteprojeto de lei do 3º Plano Diretor de Pelotas. Disponível em: <[www.pelotas.com.br](http://www.pelotas.com.br)>. Acesso em: 25 de outubro de 2006.
9. RIGATTI, DÉCIO. Loteamentos, Expansão e Estrutura Urbana. Porto Alegre, 2001. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-graduação em Urbanismo.
10. ROSA, M. Geografia de Pelotas. Pelotas: Editora da Universidade Federal de Pelotas, 1985.
11. SILVA, JULIANA G. DA. A forma urbana em pelotas: Evolução morfológica e análises espaciais. Relatório final de Pesquisa. Pelotas, 2004. Universidade Federal de Pelotas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Núcleo de estudo em arquitetura e urbanismo.
12. SILVA, K. M.; CALDAS, N. V.; ALMEIDA, J. S. A zona rural do III Plano Diretor de Pelotas-RS. In: Congresso de Direito Urbano-Ambiental, 2006, Porto Alegre. Anais do Congresso de Direito Urbano-Ambiental, Porto Alegre: CORAG, 2006.
13. TAGLIANI, C. R. A.; VICENS, R. S. Mapeamento da Vegetação e Uso do Solo nos Entornos da Laguna dos Patos, RS, Utilizando Técnicas de Processamento Digital de Imagens do SIG Spring. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2003, Belo Horizonte. Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte: INPE, 2003.