

ESTUDO DE ÁREAS URBANAS SOB RISCO DE ALAGAMENTO: UMA MODELAGEM COM REALIDADE VIRTUAL

Ivan Dornelas Falcone de Melo¹
Silvane Karoline Silva Paixão²
Ana Lúcia Bezerra Candeias³
Andréa Flávia Tenório Carneiro⁴
Miguel Pedro da Silva Neto⁵
Fernando José Câmara Lins⁶

^{1, 2, 3, 4} Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
^{2, 3, 4} Departamento de Engenharia Cartográfica – DECart
^{1, 2, 3} Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação
Av. Acad. Hélio Ramos, s/n – Cidade Universitária
50740-530 – Recife – Pernambuco
¹ ivandornelas@uol.com.br; ² silvane@yahoo.com; ³ analucia@ufpe.br; ⁴ aftc@ufpe.br
⁵ IPAD – Instituto de Planejamento e Apoio ao Desenvolvimento Técnico e Científico –
miguelpedro@ipad.com.br
⁶ Prefeitura de Ipojuca – Pernambuco – fernando@itep.br

RESUMO

As cidades brasileiras têm sofrido constantes alagamentos decorrentes dos altos índices pluviométricos e pela falta de planejamento no uso e ocupação do solo. Este artigo tem por objetivo modelar áreas de alagamento aplicando técnicas de realidade virtual utilizando como área de estudo o cruzamento da Avenida Caxangá com a estrada BR-101 em Recife, Pernambuco.

Palavras-chave: Áreas de Risco, VRML, MDT, Topografia.

ABSTRACT

The Brazilian cities have suffered to constant decurrent overflows from the high rains indices and for the lack from planning in the use and occupation from the ground. This article has for shape objective overflow areas applying techniques of virtual reality using as study area the crossing of the Caxangá Avenue with the Br-101 road in Recife, Pernambuco.

Key-words: Risk Areas, VRML, DTM, Topography

1. INTRODUÇÃO

O Recife localiza-se em uma planície, formada pelas terras de aluvião trazidas pelos rios Capibaribe, Beberibe, Jiquiá e Jaboatão, e pelos constantes aterros realizados ao longo de quase cinco séculos, com cerca de 600 quilômetros de galerias e 66 canais com 120 quilômetros de extensão de dutos, que deságuam para os cinco rios que cortam a capital. Em estações chuvosas com altas precipitações pluviométricas e variações das marés, a Cidade é castigada por inundações devido à geomorfologia do lugar e pela ausência de programas de dragagem dos canais e drenagem de todo o sistema.

Entre os pontos críticos de alagamentos catalogados pelo governo municipal, estão os corredores de tráfego. Neste trabalho destaca como área de estudo o cruzamento da Avenida Caxangá com a BR-101.

O uso da visualização do terreno em três dimensões é uma fonte de informação complexa, no entanto, de interpretação mais simples, podendo ser aplicada nos estudos de drenagem, auxiliando na tomada de decisões para o fluxo das águas, uma vez que feitas simulações, é possível identificar pontos críticos e buscar soluções para eliminá-los.

A Realidade Virtual pode ser aplicada à modelagem do terreno possibilitando efeitos de rotação, translação e ampliação, além de permitir a navegação através do modelo para obter o conhecimento da superfície de diferentes pontos de observação, antes não perceptíveis ao usuário. A visualização assistida pela realidade virtual pode ser construída através de uma linguagem computacional como a VRML - *Virtual Reality Modeling Language*.

Este trabalho mostra como a Realidade Virtual pode ser associada à Cartografia para auxiliar na análise de risco de alagamento.

2. OBJETIVO DA PESQUISA

Esta pesquisa teve como objetivo mostrar através da Realidade Virtual o comportamento do relevo, e suas alterações ao longo do tempo, em áreas críticas de alagamento de zonas urbanas, realizando comparações entre Modelos Digitais de Terrenos gerados a partir das informações de ortofotocartas da década de 70 e de dados atuais obtidos em levantamento de campo por receptores GPS - *Global Position System*, introduzindo técnicas que subsidiem futuras intervenções do poder público na drenagem de áreas alagáveis por ações antrópicas.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo (Figura 1) está inserida em uma região de sedimentos do quaternário denominado de Formação Boa Viagem, com espessura média de 50m. As areias quartzosas são os tipos de sedimentos mais frequentemente encontrados no local. geomorfologicamente a área pertence a planície flúvio-lagunar do Recife.

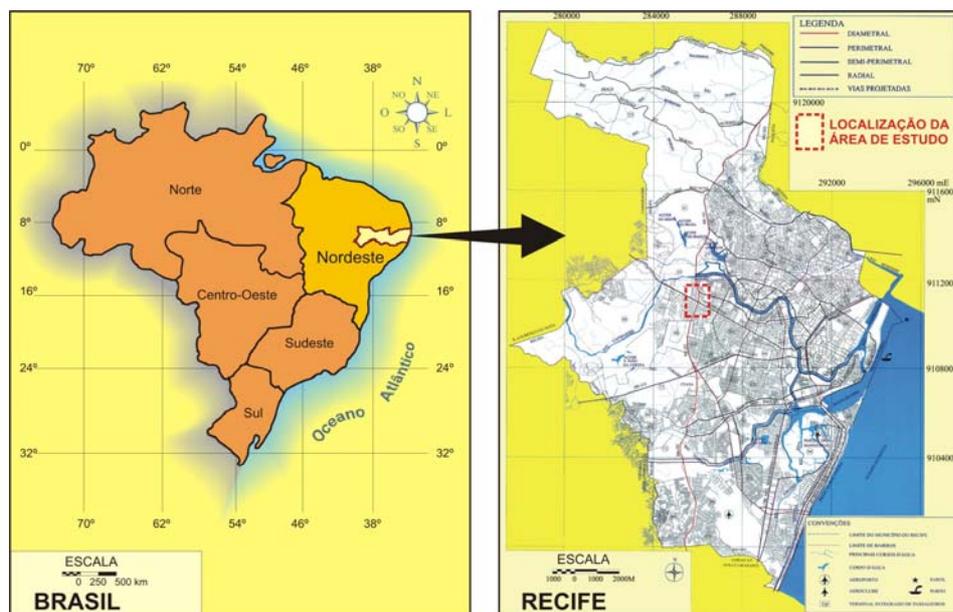


Figura 1 – Localização da área de estudo

O sistema de drenagem fluvial da área de estudo é composto basicamente por três cursos d'água, o Canal da Rua Ministro João Alberto, riacho Cavouco e riacho do Caiara, todo pertencentes a bacia do rio Capibaribe. Os índices de pluviosidade são relativamente altos, com média anual de 1651,00mm.

Quando ao índice de urbanização pode-se caracterizar a região como urbanizada, com aproximadamente 50% das ruas pavimentadas e 70% dos terrenos ocupados por habitações e/ou comércio, a área verde é extremamente deficiente, restando apenas algumas árvores nos quintais das casas e nas calçadas.

É importante salientar que a proximidade com a Universidade Federal de Pernambuco e com as grandes vias de acesso tem tornado a região atraente para a construção civil o que acarretou nos últimos anos em um considerável índice de verticalização das edificações.

Os aspectos antrópicos mais relevantes para o estudo são: as obras viárias (viaduto da BR-101 sobre Avenida Caxangá no ano de 1976), canalização dos cursos d'água (riacho Cavouco década de 70), impermeabilização do solo e intensidade do fluxo viário nas principais vias da região.

3.1 – A Avenida Caxangá

Antes de sua pavimentação, a Avenida Caxangá, foi a via de acesso responsável pela expansão da cidade na direção oeste, funcionando como um elo entre a Zona da Mata Norte e o Centro. Sua construção começou em 1940, mas só foi concluída e inaugurada em agosto de 1966. Com cerca de 6,5km de extensão, o maior corredor urbano de transporte coletivo em linha reta do Estado, começa na Madalena, perto do Museu da Abolição, e termina na Ponte Marechal Castelo Branco, no bairro de Caxangá, sendo um eixo de escoamento de trânsito do Recife caracterizado pela circulação acelerada

de pessoas e bens. Possui duas faixas de rolamento, cada uma com 10 metros de largura, intercaladas por um canteiro central e faixa exclusiva para ônibus com quatro metros de largura.

Como a via não possui área de preservação histórica, a Lei de Uso e Ocupação do Solo não é restritiva quanto ao tipo de uso de seu entorno, o Cadastro Mercantil da Prefeitura da Cidade do Recife constata que 86,4% dos imóveis correspondem à área de comércio e serviços, em especial as concessionárias de veículos. A Figura 2 mostra o cruzamento da Avenida Caxangá com a BR 101, seus arruamentos e o rio Capibaribe.

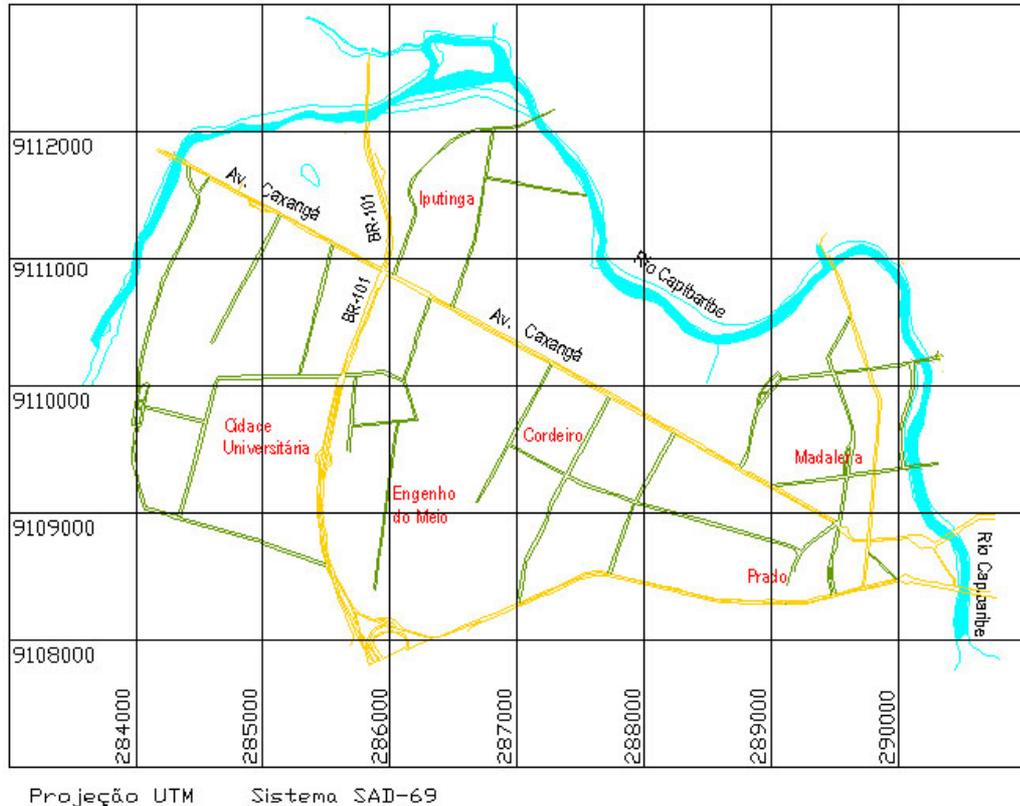


Figura 2 – Avenida Caxangá e BR-101

Quanto ao seu sistema de drenagem, há ocorrência de redes pluviais em apenas um lado da área em estudo (lado esquerdo centro - subúrbio) e alguns poços de captação ao longo da BR-101.

As figuras 3 e 4 mostram a área do estudo em dia sem alagamento no mês de junho de 2003.

Toda esta região fica alagada no período de chuvas intensas, dificultando o trânsito nesta região.

A Figura 5 mostra como ficaram algumas ruas com a inundação ocorrida no ano de 2000 na cidade do Recife.



Figura 3 – Cruzamento da BR-101 com a Avenida Caxangá (2003) em dia sem alagamento.



Figura 4 – Cruzamento da BR-101 com a Avenida Caxangá (2003) em dia sem alagamento.



Figura 5 – Inundação no Recife em 2000
Fonte: <http://www.pe-az.com.br/enchentes.htm>.

4. EMBASAMENTO TEÓRICO

O embasamento teórico foi dividido em dois temas: Modelo Digital de Terreno e Realidade Virtual.

4.1 – Modelo Digital de Terreno - MDT

Para a representação de uma superfície real em ambiente computacional é indispensável a criação de um modelo digital, seja por equações analíticas ou por rede de pontos no formato de uma grade de pontos regulares ou não. A partir dos modelos podem ser calculados volumes, áreas, desenhar perfis e seções transversais, gerar imagens sombreadas ou em níveis de cinza, gerar mapas de declividade e exposição, gerar fatiamentos em intervalos desejados e perspectivas tridimensionais.

Segundo ROSA (2002) o modelo digital do terreno (MDT) é a representação de superfícies físicas ou artificialmente criadas, através de processos matemáticos, ou seja, através da modelagem procura-se determinar a superfície que melhor representa um conjunto de dados pontuais, em geral por ajuste de funções ou por interpolações. Para VIEIRA (2001) é uma solução numérica eficiente no sentido de permitir o armazenamento de dados de altimetria e geração de mapas topográficos, perfis e seções, visualização tridimensional do terreno, simulação de projetos de movimentação de terra, elaboração de mapas de declividade e exposição solar, cálculo da direção e volume acumulado dos fluxos de águas superficiais.

O processo de modelagem matemática envolve três etapas básicas de trabalho (SÁ, 2001):

- Obtenção de informações da superfície real que possibilitem a caracterização matemática do modelo;

- Elaboração do modelo matemático, composto por estruturas de dados e funções de interpolação que simulem o comportamento da superfície real;
- Utilização do modelo em substituição à superfície real.

O uso desses modelos possibilita a extração de informações como a declividade, por conseguinte das direções referenciais de fluxo superficial, permite ainda o mapeamento da área atingida pelo evento de inundação, exibindo o alcance do evento às autoridades, auxiliando no trabalho de assistência às vítimas.

Os programas de geração do MDT são agrupados em torno de duas concepções: modelos que utilizam superfícies (equações analíticas, polinômios, séries de Fourier, *splines*) e modelos que utilizam rede ou grade de pontos (malha quadrada, retangular e triangular).

A grade regular comumente utilizada é a grade regular retangular, é um poliedro de faces retangulares, que possui uma estrutura matricial regular, com um espaçamento constante tanto no eixo dos X como no dos Y. Para VIEIRA (2001) essas grades são representações matriciais, onde cada elemento se encontra associado a um valor numérico, apresentando vantagens no cálculo e no desenho de perfis e seções, nos quais os valores são associados a linha e coluna.

Em sua geração, são usados interpoladores matemáticos, a partir de um conjunto de pontos originais, para estimar os valores para as células que não possuem elevação, considerando os pontos vizinhos, dentre eles, FELGUEIRAS (1987) destaca:

Interpoladores de tendência - Representam as variações do fenômeno estudado a partir de regressões polinomiais, a idéia é ajustar uma superfície polinomial sobre todos os dados amostrais minimizando-se o erro de ajuste global. Superfícies de tendência são funções suaves e raramente passam sobre as amostras a menos que elas sejam poucas e a ordem da superfície seja alta. Pouco usada para modelagem digital sempre que a quantidade de amostras é grande.

Media Móvel - A média das cotas das amostras vizinhas, também conhecido como média móvel, é um dos esquemas de interpolação mais simples para estimação dos valores de cota dos pontos de uma grade regular retangular. A formulação geral para este tipo de interpolação é:

$$z_i = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} z_{ij}}{\sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (1)$$

Sendo que:

- z_i é o valor de cota de um ponto i qualquer da grade;
- z_j é a cota de uma amostra j vizinha do ponto i da grade;
- w_{ij} é um fator de ponderação.

Variações desse esquema básico são: interpolador por vizinho mais próximo; interpolador por média simples; interpolador por média ponderada; interpolador por média ponderada por quadrante e; interpolador por média ponderada por quadrante e por cota.

A interpolação por vizinho mais próximo é definida pela escolha de apenas uma amostra vizinha para cada ponto da grade, ou seja, quando j igual a 1.

A interpolação por média simples considera o valor de cota z do elemento da grade igual a média aritmética dos valores de cota das amostras vizinhas. Considera-se que o fator de ponderação w_{ij} é igual a 1 para qualquer amostra vizinha.

Na interpolação por média ponderada o valor de cota de cada elemento da grade é definido pela média ponderada dos valores de cota das amostras vizinhas. A ponderação mais usada na prática é o inverso da distância euclidiana do ponto da grade à amostra considerada, ou seja:

$$w_{ij} = \frac{1}{d_{ij}^k} \quad (2)$$

Sendo que:

- k é o expoente da distância, geralmente igual a 1 ou 2;
- d_{ij} é o valor de distância da amostra j ao ponto i da grade.

Desta forma quanto mais distante, uma amostra se encontra do ponto da grade, menor deve ser a sua influência (peso) no cômputo final do valor de cota do ponto da grade.

A interpolação por média ponderada por quadrante inclui, além da ponderação, uma escolha das posições relativas das amostras que entram na estimativa do valor de cota da grade.

Interpolador por média ponderada por quadrante e por cota considera, além da ponderação e dos quadrantes, o valor de cota de cada amostra a ser usada na estimativa do ponto da grade.

É um modelo com facilidade de associação da sua representação, por ser matricial e possui um grande número de redundâncias, mas é de difícil manutenção, uma vez que na inserção ou remoção de um dado ponto, toda a malha deve ser refeita em toda a sua totalidade.

Na estrutura irregular (TIN – *Triangular Irregular Network*), a representação da superfície ocorre através de polígonos triangulares, com vértices sobre os pontos amostrais para compor o modelo, interligando-os três a três, ou seja, as arestas são segmentos de reta e os polígonos são sempre triângulos.

Possui uma redundância reduzida. Em áreas com muita movimentação a malha triangular é mais fina, ao passo que em áreas com pouca movimentação a malha obedece a um padrão mais espaçoso, além do que, a representação de descontinuidades pode ocorrer por intermédio de linhas ou pontos.

O interpolador mais utilizado é o da Triangulação de DELAUNAY, cujo critério é o de maximização dos ângulos mínimos de cada triângulo. Isto é equivalente a dizer que, a malha final, deve conter triângulos o mais próximo de equiláteros possível evitando-se a criação de triângulos afinados, ou seja, triângulos com ângulos internos muito agudos.

Tabela 1 – Comparação Entre Grades Retangulares e Triangulares Para MDT.

Grade Triangular	Grade Retangular
Melhor representação de relevo complexo;	Facilidade de manuseio e conversão
Incorporação de restrições como linha de crista, talvegue, platôs.	Adequada para geofísica e visualização 3D
Os vértices dos triângulos pertencem ao conjunto amostral	Os vértices dos retângulos são estimados a partir das amostras
Representa melhor as superfícies não homogêneas com variações locais acentuadas	Apresenta problemas para representar superfícies com variações locais acentuadas
É necessário identificar e armazenar as relações topológicas entre os triângulos	Relações topológicas entre os retângulos são explícitas
Mais utilizado em aplicações quantitativas.	Mais utilizado em aplicações qualitativas e para análises multiníveis no formato raster

Fonte: HORTA (2001)

4.2 – Realidade Virtual

A Linguagem para Modelagem em Realidade Virtual VRML (*Virtual Reality Modeling Language*) é uma linguagem padrão usada para descrever objetos 3D e combiná-los em cenas ou mundos virtuais, HARTMAN (1996). Ela pode ser usada para criar simulações interativas que incorporam animação em tempo real. A VRML foi projetada para a *World Wide Web*, sendo sua interação realizada através de *software* de navegação na Internet.

O VRML possibilita ao usuário caminhar ou sobrevoar o modelo através de cidades e edificações a partir de decisões próprias e na direção desejada, com espaço e profundidade infinitos.

A Modelagem em Realidade Virtual atendeu aos requisitos deste projeto, que teve seus modelos criados através do ARCVIEW - 3D *Analist*, sendo posteriormente exportado para o formato VRML, o que tornou um procedimento complexo, construído por meio de algoritmos computacionais, em uma operação trivial em um *software* SIG.

5. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

A Figura 6 descreve as etapas do estudo. Inicialmente, foi feita a identificação do problema alagamentos e os estudos preliminares envolveram o embasamento teórico. Posteriormente, a

digitalização e o levantamento de campo. Em seguida foram aplicadas a modelagem e a confrontação histórica, finalmente, tendo sido formulada a visualização pelo *plugin*.

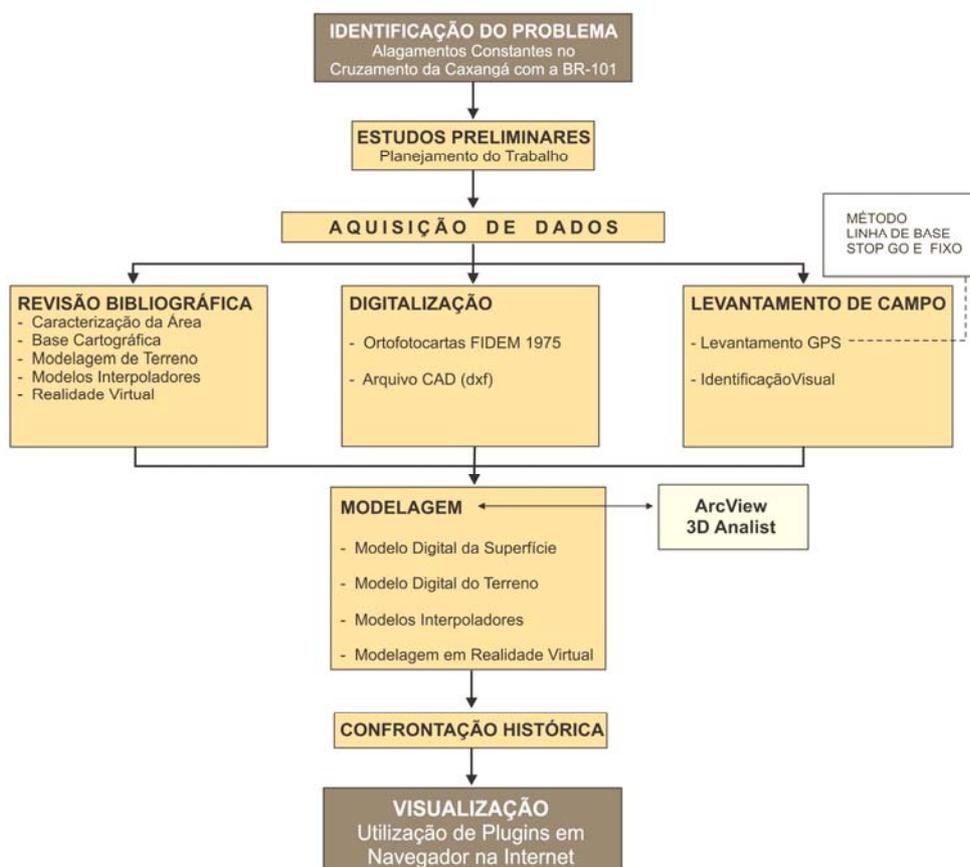


Figura 6 – Esquema dos métodos e materiais empregados.

6. RESULTADOS

A Figura 7 mostra a área de que utilizada para a coleta dos dados e posterior modelagem.



Figura 7 – Área de Estudo.

Os dados referentes ao ano de 1975 foram obtidos através das ortofotocartas da FIDEM, que depois de digitalizadas e interpoladas, produziram o mapa de curvas de nível. A aquisição de dados do ano de 2003 foi efetuada a partir de levantamento de campo com receptores GPS, gerando um segundo mapa com curvas de nível para este ano. No módulo do ArcView, 3D-Analyst, foram construídos os mapas de superfície utilizando o interpolador linear triangular, tanto para o ano de 1975 quanto para 2003. Estes mapas estão representados nas figuras 8 e 9, onde podem ser observadas alterações no terreno entre as duas épocas. Isto pode implicar no problema atualmente observado na área.

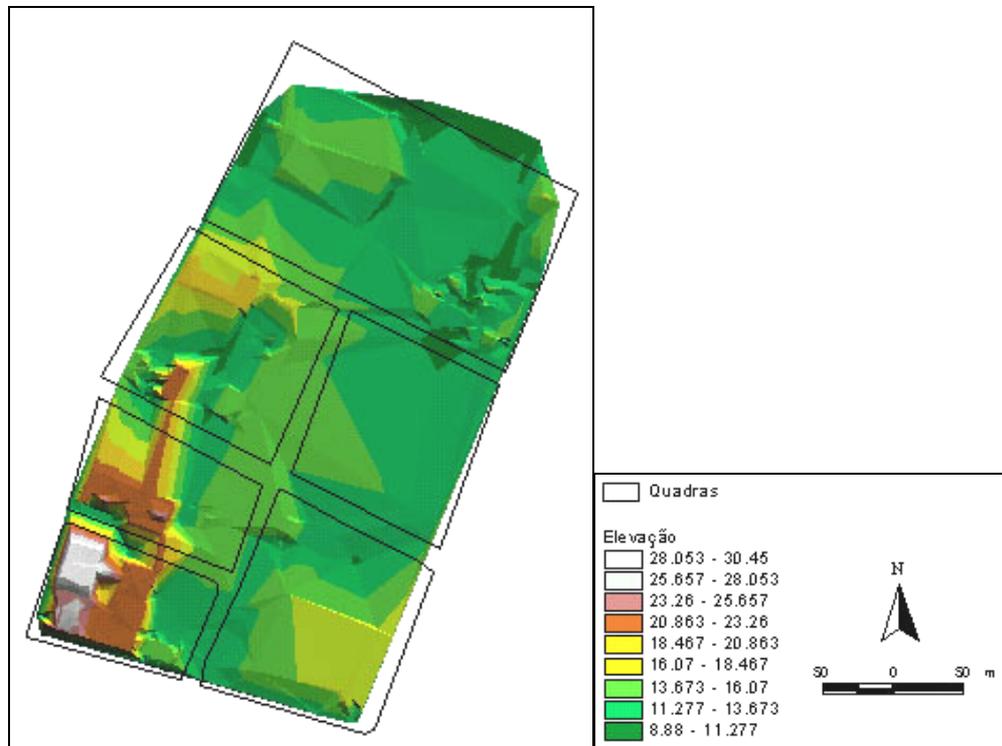


Figura 8 – Superfície de Nível em 1975.

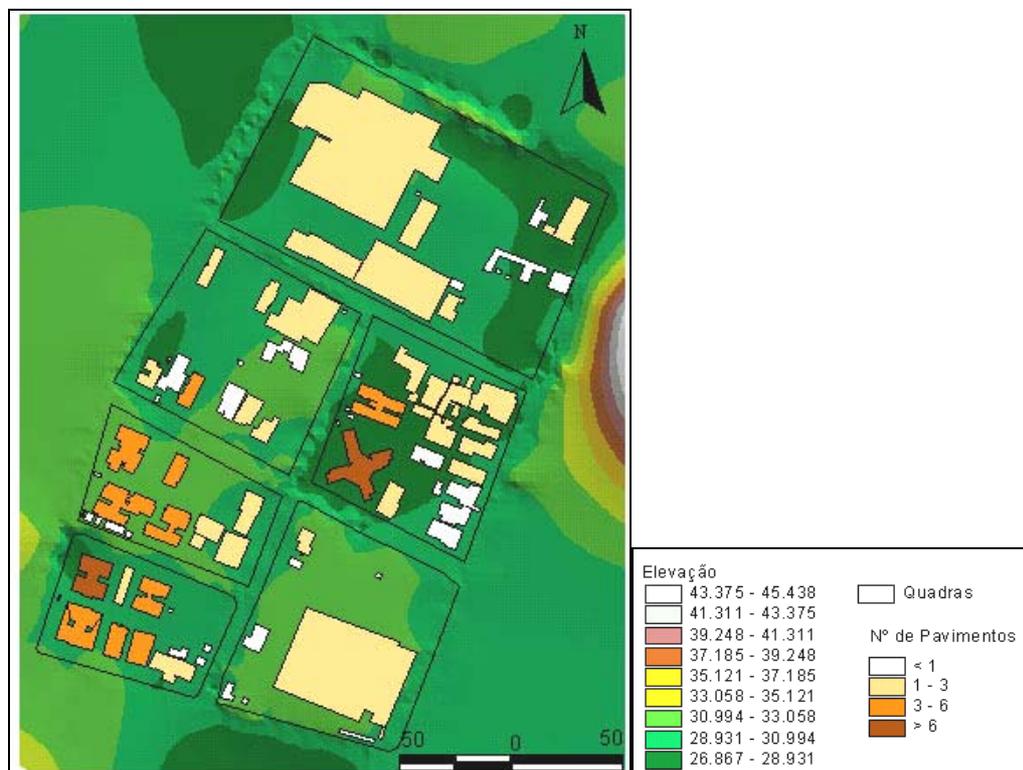


Figura 9 - Superfície de Nível em 2003

A Figura 10 mostra a visualização em 3D, através do *plugin* de Realidade Virtual, do terreno em 2003. Enquanto que, a Figura 11 mostra a mesma situação com as edificações existente no local (no formato *grid*). Com isto é possível fazer um estudo mais detalhado de cada região.



Figura 10 – Visualização em 3D do Terreno (2003).

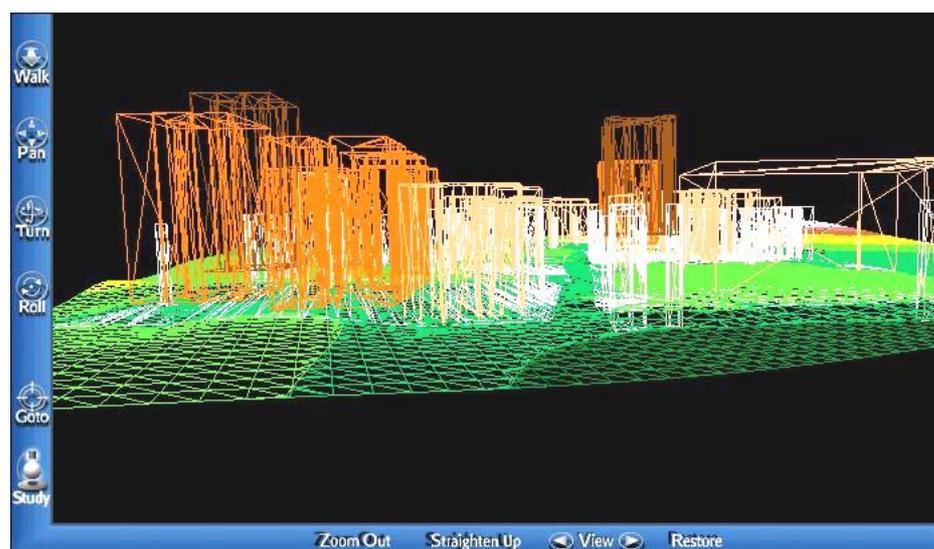


Figura 11 – Visualização em 3D do Terreno com as Edificações (2003).

7. CONCLUSÕES

Entre os pontos críticos de alagamentos catalogados pelo governo municipal, estão os corredores de tráfego, um deles é o cruzamento da Avenida Caxangá com a BR-101.

O uso da visualização do terreno em três dimensões é uma fonte de interpretação mais simples, podendo ser aplicada nos estudos de drenagem, auxiliando na tomada de decisões para o fluxo das águas, uma vez que feitas simulações, é possível identificar pontos críticos e buscar soluções para eliminá-los.

A modelagem aqui apresentada mostra uma nova abordagem para um projeto de avaliação de risco de alagamento.

O editor VRML é uma ferramenta importante na visualização tridimensional permitindo construir e corrigir em tempo real um Modelo Digital de Superfície e possibilita aplicar o conceito de visão computacional na visualização de dados cartográficos

Este problema pode ser visto como um problema multidisciplinar, envolvendo: Cartografia, Engenharia Civil (Saneamento) e Realidade Virtual, conceitos de Geografia Urbana e Geomorfologia porque envolvem o uso e ocupação do solo e as formas do relevo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FELGUEIRAS C. A. **Desenvolvimento de um Sistema de Modelagem Digital de Terreno para Microcomputadores.** Dissertação de mestrado em Computação Aplicada. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, SP, Brasil. 1987.

HORTA, A. **Diagnóstico urbanístico e plano de indenizações de moradias para Vila Acaba Mundo utilizando técnicas de Geoprocessamento.** Monografia UFMG – BH, 2001.65p.

ROSA, E. **Desenvolvimento de Procedimentos Computacionais para Integração de Sistemas de Informação Geográfica com Modelo Hidrológico Chuva-Vazão em Bacias Urbanas.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Computação – área de concentração geomática – mestrado da faculdade de engenharia da universidade do estado do Rio de Janeiro. 2002.141p.

SÁ, C. **Mapeamento de Declividades voltado para o Controle de processos Erosivos em Sítios Florestais.** Monografia UFMG, 2001.35p.

VIEIRA, Eliane. **Produção de Material Didático utilizando Ferramentas de Geoprocessamento.** Monografia UFMG, 2001.38p.

HARTMAN, J.; WERNECKE, J. **The VRML 2.0 Handbook: Building moving Worlds on the Web.** Addison-Wesley Developers Press. 1996.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o desenvolvimento deste estudo ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, a CAPES e ao Departamento de Engenharia Cartográfica.