# 5 Implementação e Análise Experimental do Método

Um protótipo que implementa o método proposto no capítulo anterior foi construído para avaliação de desempenho. Este capítulo descreve a operação do protótipo, buscando prover ao leitor um melhor entendimento do método proposto. Além disso, este capítulo apresenta os resultados de uma avaliação experimental do método proposto.

A seção 5.1 descreve como o protótipo foi construído. A seção 5.2 descreve o procedimento experimental realizado para avaliar o método e a seção 5.3 apresenta e discute os resultados obtidos.

### 5.1 Descrição do Protótipo

Esta seção apresenta as ferramentas utilizadas para a construção do protótipo, como foi implementada cada etapa e a interação entre elas.

Os programas desenvolvidos se dividem em dois módulos: o de "Detecção dos topos" e o de "Reconstrução 3D" de edificações, este último inclui as etapas de "Determinação de Regiões Homólogas" e "Reconstrução 3D" dos segmentos" descritas no capítulo 4. Ambos foram desenvolvidos utilizando aplicativos de *software* livre, a saber:

- GNU GCC (Linguagem C++), versão 4.x;
- o Ambiente de desenvolvimento Qt3; e
- o Sistema operacional Linux Ubuntu, versão 8.10.

O módulo de "Detecção dos topos" processa as imagens do par estereoscópico individualmente, primeiro recebendo a imagem de entrada e realizando a etapa de segmentação. O resultado é uma imagem rotulada preliminarmente, conforme visto no capítulo anterior. O programa admite a inserção de imagens já segmentadas em outras aplicações, permitindo, assim, a utilização de outros tipos de segmentadores não considerados nesta tese. Ao final, são gerados para cada imagem do par estereoscópico:

- o Uma imagem rotulada contendo os segmentos de topo; e
- Um arquivo de dados contendo informações sobre os atributos de cada topo.

O programa permite ao usuário fazer uma análise visual dos resultados, além de obter valores de atributos. Desta forma, é possível analisar os limites dos atributos na classificação de topos. A figura 5.1 apresenta a janela do módulo de "Detecção dos topos".



Figura 5.1: Janela do módulo de "Detecção dos topos" desenvolvido.

O módulo seguinte é o módulo de "Reconstrução 3D" de Edificações. Ele recebe como entradas:

- o Par estéreo;
- o Duas imagens rotuladas;
- o Dois arquivos de dados de atributos;
- o Modelo Digital de Superfície de entrada (MDSe); e
- Arquivos contendo dados do vôo, e os parâmetros das orientações interior e exterior do par estereoscópico.

O programa desenvolvido possui uma interface interativa com usuário, onde é possível modificar os parâmetros e visualizar os resultados de cada etapa do projeto (figura 5.2).



Figura 5.2: Janela do módulo de "Reconstrução 3D".

Assim como no módulo de "Detecção dos topos", o módulo de "Reconstrução 3D" possui ferramentas de análise de resultados. Os arquivos de saída são:

- O Modelo Digital de Superfície contendo apenas os topos das edificações encontrados (MDSt); e
- o Uma imagem rotulada relativa aos topos presentes em MDSt.

# 5.2 Descrição dos experimentos

Os experimentos foram desenvolvidos com o objetivo de avaliar o método proposto. Para tal, utilizou-se dois pares de imagens aéreas de uma área de assentamento informal da cidade do Rio de Janeiro, situada na zona oeste da cidade, conhecida como Comunidade de Rio das Pedras (figuras 5.3 e 5.4). As imagens foram adquiridas em 2000 e 2004 e suas características são dadas nas tabelas 5.1 e 5.2.

Rio das Pedras, ano 2000		
Número de Imagens	2	
Tipo	Aérea	
Digitalização	618 DPI	
Resolução espacial	0,33 metros	
Resolução espectral	Pancromática (1 banda)	
Distância focal	301,387 mm	
Escala do vôo	1/8000	

Tabela 5.1: Dados sobre o vôo de Rio das Pedras em 2000. Fonte: IPP.



Figura 5.3: Par de imagens do vôo de 2000 utilizadas no experimento.

Rio das Pedras, ano 2004		
Número de Imagens	2	
Tipo	Aérea	
Digitalização	1268 DPI	
Resolução espacial	0,36 metros	
Resolução espectral	Pancromática (1 banda)	
Distância focal	151,98 mm	
Escala do vôo	1/18000	

Tabela 5.2: Dados sobre o vôo de Rio das Pedras em 2004. Fonte: IPP.



Figura 5.4: Par de imagens do vôo de 2004 utilizadas no experimento.

# 5.2.1 Procedimentos preliminares

Como procedimentos preliminares foram gerados os MDSe da região, relativos aos vôos de 2000 e 2004, com auxílio do *software* LPS 9.3, da empresa Leica Geosystems, e também o recorte da região de interesse através de polígonos medidos manualmente, conforme mostra a figura 5.5. As regiões fora da área de interesse são marcadas com o valor de *Z* igual a zero.



Figura 5.5: Geração do MDS e seleção de área de interesse.

Os MDSe foram extraídos fotogrametricamente no LPS com resolução espacial de 1 metro. Os parâmetros de orientação interior e exterior foram calculados no *software* LPS. Esses dados serão utilizados nos cálculos da interseção e da ressecção espaciais. A descrição detalhada dos procedimentos preliminares encontra-se no apêndice A.

### 5.2.2 Obtenção dos dados de referência

Os valores de referência para ambos os vôos foram obtidos por restituição fotogramétrica. A restituição foi feita manualmente por um técnico em fotogrametria com vasta experiência profissional, a partir do software Stereo Analyst, que é parte integrante da estação fotogrametria LPS, da empresa Leica Geosystems.

Devido à grande quantidade de habitações na área de estudo, foram selecionadas 5 áreas para a análise. As 5 áreas selecionadas correspondem a aproximadamente 30% da área com edificações e podem ser vistas na figura 5.6.



Figura 5.6: Áreas selecionadas como amostras da região de interesse.

Foram medidos 1802 topos de edificações no par de 2000 e 1756 topos de edificações no par de 2004.

Produziu-se um Modelo Digital de Superfície de referência (MDSr) com resolução espacial de 1,0 metro que contém todos os polígonos de referência. Atribui-se o valor Z=0 às regiões do MDSr não pertencentes a qualquer polígono de referência. O valor de Z de cada polígono de referência em MDSr é dado pela média dos valores Z de seus vértices.

Além do MDSr foi gerada uma imagem rotulada onde se identificam os topos de edificações restituídos fotogrametricamente. O formato dos arquivos do

MDSr e imagem rotulada utilizados são descritos no apêndice A. As figuras 5.7 e 5.8 apresentam o resultado da restituição fotogramétrica para os vôos de 2000 e 2004.



Figura 5.7: Restituição fotogramétrica para o vôo de 2000: MDSr (esquerda) e correspondente imagem rotulada (direita).



Figura 5.8: Restituição fotogramétrica para o vôo de 2004: MDSr (esquerda) e correspondente imagem rotulada (direita).

#### 5.2.3 Avaliação dos MDSe

A qualidade dos MDSe utilizados na entrada do método foi medida para cada topo de referência pelo seguinte procedimento:

- Para cada coordenada X, Y do topo considerado, foi calculado o erro altimétrico, dado pelo módulo da diferença entre valores correspondentes no MDSr e no MDSe; e
- O erro associado a cada topo é dado pela média do conjunto de erros altimétricos relativos a este topo.

Os resultados desta avaliação, para os vôos de 2000 e 2004, podem ser vistos no histograma de erros altimétricos calculados para o MDSe, na figura 5.9. Por exemplo, a coluna "0" contém edificações cujos erros altimétricos variam de 0 até 1 metro. Observa-se que há uma quantidade significativa (em torno de 34%) de edificações com erro altimétrico maior ou igual a 3 metros (valor do pé direito de uma edificação).





# 5.2.4 Detecção dos topos das edificações

No módulo de "Detecção dos topos" a etapa de segmentação das imagens

foi realizada aplicando-se dois algoritmos distintos: um algoritmo de Crescimento de Região baseado em (Baatz e Schäpe, 2000; Happ et al., 2011) e um segundo algoritmo baseado na técnica de *Watershed* (Beucher e Mayer, 1993). Os detalhes dos algoritmos e programas utilizados na segmentação estão descritos no apêndice B.

A tabela 5.3 apresenta os valores dos parâmetros utilizados nos segmentadores. Estes valores foram determinados empiricamente.

	Watershed		Baatz & Schäpe		
Imagem	S	Т	S	W <sub>cor</sub>	W <sub>comp</sub>
Esquerda 2000	0.5	1	35	0.8	0.5
Direita 2000	0.5	1	35	0.8	0.5
Esquerda 2004	0.5	0.08	25	0.8	0.5
Direita 2004	0.5	0.08	25	0.8	0.5

Tabela 5.3: Valores dos parâmetros utilizados nos segmentadores.

Após a segmentação, aplicou-se uma operação morfológica de abertura e fechamento nos segmentos das imagens rotuladas, como prevê o método proposto. Nesse caso, foi utilizado um elemento estruturante de tamanho 3x3, com todos os *pixels* iguais a "1". O resultado desta operação está ilustrado na figura 5.10. Observa-se que os segmentos tiveram seus contornos suavizados. O círculo azul delimita uma região em que se nota claramente a capacidade desta operação de preencher buracos internos do segmento. Já no círculo amarelo, observa-se que um exemplo em que um segmento deu origem a dois novos segmentos.



Figura 5.10: Processo de abertura e fechamento aplicado à imagem segmentada (esquerda) e o resultado obtido (direita).

Após a etapa de abertura e fechamento, os atributos dos segmentos foram calculados. Após o cálculo dos atributos, iniciou-se a etapa de pré-classificação.

Primeiramente, foram eliminados os segmentos situados sobre regiões de sombra. Para isso, utilizou-se uma máscara de sombra, aplicada nas imagens originais, de forma a eliminar todos os segmentos que estivessem sobre esta máscara.

Para a obtenção desta máscara de sombra, determinou-se um limiar de intensidade de *pixel*, de forma a selecionar *pixels* escuros. O valor de 128 para ambas as imagens foi determinado empiricamente, com base na seleção de áreas de sombra, conforme mostra a figura 5.11.



Figura 5.11: Máscara de sombra (regiões em vermelho) obtidas a partir da imagem de 2000 (esquerda).

Em seguida, foram eliminados os segmentos, cujos atributos de área, anisometria e compacidade excederam uma determinada faixa de valores de atributos.

Conforme visto no capítulo anterior, a faixa de valores dos atributos de área e anisometria podem ser determinados a partir de conhecimento *a priori*. No caso da área, admitiu-se que uma habitação possui área mínima de 25 m<sup>2</sup> e área máxima de 900 m<sup>2</sup>. Observando as tabelas 5.1 e 5.2, a resolução espacial das imagens é de aproximadamente 0,33 metros. Assim, os valores de área mínima e máxima em *pixels* são 75 e 2700, respectivamente. Já para o atributo anisometria, utilizou-se uma faixa de aceitação de 1,0 a 4,0.

De forma a verificar se outros atributos (compacidade, robustez e arredondamento) poderiam ser utilizados na etapa de pré-classificação, selecionaram-se dois conjuntos de amostras, cada um contendo 42 segmentos. O primeiro conjunto contém segmentos da classe "topos de edificação" e o segundo segmentos da classe "não-topos de edificação". Então, os atributos dos segmentos

de ambos os conjuntos foram analisados e comparados, constatando-se que o atributo compacidade isoladamente já é capaz de separar bem as duas classes, conforme mostra a figura 5.12.



Figura 5.12: Análise e comparação dos valores do atributo de compacidade das amostras de "topos de edificação" e "não-topos de edificação".

A tabela 5.4 apresenta as faixas de valores de aceitação para cada atributo, Para ser considerado "topos de edificação" um segmento deve ter os valores desses três atributos dentro dos correspondentes intervalos. Observando-se novamente a figura 5.12, nota-se que os valores de compacidade para segmentos de "topos de edificação", variam de 1,0 a 2,5, adotando-se aqui uma pequena margem de segurança.

Atributo	Valor mínimo	Valor Máximo
Área	75	2700
Anisometria	1.0	4.0
Compacidade	1.0	2.5

Tabela 5.4: Faixa de valores dos atributos na etapa de pré-classificação.

Após a etapa de pré-classificação, procede-se à classificação final dos segmentos. Neste caso, foram utilizados os atributos de compacidade, anisometria, robustez e arredondamento.

O ajuste dos pesos dos atributos foi feito utilizando-se a técnica de Análise Linear Discriminante (Johnson & Wichern, 1998). Para tal, selecionou-se uma amostra de 42 segmentos classificados visualmente como topo de edificação e outras 42 amostras classificadas como não-topo de edificação. Para testar a eficácia desta técnica, foram selecionadas 24 amostras aleatoriamente de cada grupo para fazer o ajuste dos pesos e as 18 restantes para testar os ajustes. O experimento foi executado 100 vezes, cada vez com uma distribuição distinta de amostras para treinamento e teste. Os valores de taxa de erro variaram entre 0% e 14%, ficando em 6% a taxa média. Por fim, foram utilizadas todas as 84 amostras para fazer o ajuste final dos pesos. O resultado pode ser visto na tabela 5.5.

Atributo	Peso
Compacidade	1,673956
Anisometria	-1.832383
Robustez	38.803314
Arredondamento	-27.704864

Tabela 5.5: Resultado dos ajustes dos pesos dos parâmetros de classificação.

O limiar superior para a variável *V*, definida na equação 4.11, foi determinado com base no valor que minimiza o erro de classificação das amostras, no qual foi encontrado o valor 24. Segmentos, para os quais esta variável tem valor abaixo deste limiar foram considerados como pertencentes à classe "topo de edificação".

As figuras 5.13 e 5.14 apresentam o resultado final da "Detecção dos topos" para um trecho da área de interesse, utilizando-se os segmentadores de Baatz & Schäpe e *Watershed*, respectivamente.



Figura 5.13: Resultado final da "Detecção dos topos" a partir da segmentação por Baatz & Schäpe.



Figura 5.14: Resultado final da "Detecção dos topos" a partir da segmentação por *Watershed*.

As figuras 5.15 e 5.16 apresentam gráficos que mostram o número de segmentos de topo encontrados em cada etapa da "Detecção dos topos" utilizadose o segmentador de Baatz & Schäpe e *Watershed*, respectivamente. Os dados foram normalizados a partir do número de segmentos de entrada de cada experimento.



Figura 5.15: Contribuição de cada etapa na "Detecção dos topos" das edificações, a partir do segmentador Baatz & Schäpe.



Figura 5.16: Contribuição de cada etapa na "Detecção de Topos" das edificações, a partir do segmentador *Watershed*.

Observa-se que na etapa de pós-processamento, o número de segmentos aumentou quando se utilizou o segmentador Baatz & Schäpe. Isto ocorreu devido a uma tendência do segmentador de produzir segmentos que após a operação de abertura e fechamento se dividem em 2 segmentos distintos. Já para o segmentador *Watershed* o número de segmentos diminuiu na mesma etapa. Ao final, o módulo de "Detecção dos topos" produz uma imagem rotulada e um arquivo contendo os correspondentes valores dos atributos correspondentes

# 5.2.5 Determinação de regiões homólogas e reconstrução 3D a partir de segmentos 2D

O módulo de "Reconstrução 3D" inicia fazendo o pareamento de regiões homólogas, atribuindo-se aos parâmetros os valores mostrados na tabela 5.6.

Parâmetro	Valor utilizado
Erro altimétrico máximo	5,0 m
Dimensões da janela de pesquisa	2 vezes o retângulo envoltório do segmento.
Coeficiente de correlação mínimo	0,65
Passo na varredura do MDSe	0,2 m

Tabela 5.6: Valores dos parâmetros utilizados na etapa de pareamento de regiões homólogas.

A resolução das imagens é de aproximadamente 0,3 m. Porém, verificou-se experimentalmente que o passo na varredura do MDS de 0,2 m resulta num número maior de segmentos detectados.

A quantidade de segmentos obtidos dentro desta área para cada imagem e tipo de segmentador utilizado é mostrada na figura 5.17.





No passo seguinte, efetua-se a busca de regiões homólogas. Os valores dos parâmetros foram determinados empiricamente. São eles:

- o Erro altimétrico máximo em relação ao MDS externo;
- o Dimensões da janela de pesquisa; e
- o Limiar do coeficiente de correlação.

Após o cálculo dos coeficientes de correlação entre segmentos, cria-se uma lista de pares de pares de segmentos homólogos. A figura 5.18 apresenta a porcentagem de pares obtidos, se comparada com o máximo de pares possíveis. O número de pares possíveis é determinado pela quantidade de segmentos na tabela esquerda válidos (*indicador* = 1) somados à quantidade de segmentos na tabela direita que não possuam um rótulo correspondente na tabela esquerda (topos detectados somente na imagem da direita).



Figura 5.18: Porcentagem de pares obtidos para todos os experimentos.

A figura 5.19 ilustra o resultado produzido nesta etapa para um trecho da área de interesse, do vôo de 2000, utilizando-se o segmentador *Watershed*. Segmentos homólogos são apresentados com a mesma cor em ambas as imagens.



Figura 5.19: Resultado da correspondência para o vôo de 2000, utilizandose o segmentador *Watershed*.

No passo final, fez-se a "Reconstrução 3D" dos pares dos segmentos. A figura 5.20 apresenta um gráfico com o número total de edificações pareadas em cada vôo para os dois segmentadores testados.



Figura 5.20: Número de edificações pareadas para cada experimento realizado.

Conforme visto no capítulo 4, há casos onde os topos de edificação são detectados em ambas ou apenas em uma das imagens do par estereoscópico na etapa de "Detecção de topos" de edificações. Dessa forma, a quantidade final de topos encontrados pelo método poderá será maior do que a quantidade de segmentos de topo obtidos individualmente em cada imagem. Isto pode ser observado comparando-se as figuras 5.17 e 5.20.

As imagens rotuladas com os respectivos MDSt são mostrados nas figuras 5.21 à 5.24.



Figura 5.21: Resultado após a "Reconstrução 3D" para o vôo de 2000:

MDSt (esquerda) e sua respectiva imagem rotulada (direita), utilizando-se a segmentação por Baatz & Schäpe.



Figura 5.22: Resultado após a "Reconstrução 3D" para o vôo de 2000: MDSt (esquerda) e sua respectiva imagem rotulada (direita), utilizando-se a segmentação por *Watershed*.



Figura 5.23: Resultado após a "Reconstrução 3D" para o vôo de 2004: MDSt (esquerda) e sua respectiva imagem rotulada (direita), utilizando-se a segmentação por Baatz & Schäpe.



Figura 5.24: Resultado após a "Reconstrução 3D" para o vôo de 2004: MDSt (esquerda) e sua respectiva imagem rotulada (direita), utilizando-se a segmentação por *Watershed*.

# 5.3 Análise e discussão dos resultados

Esta seção tem como objetivo avaliar os resultados do MDSt gerado pelo método proposto. A avaliação é conduzida sob três pontos de vista:

- 1. Qualidade da segmentação;
- 2. Análise de cobertura; e
- 3. Exatidão altimétrica dos MDSt.

### 5.3.1 Qualidade da Segmentação

Os experimentos relatados nesta seção têm por objetivo avaliar a qualidade da segmentação. Trata-se, portanto, de medir a similaridade entre os segmentos delineados pelo método proposto e associados ao MDSt, e os segmentos de topo de referência associados ao MDSr.

Para avaliar a coerência da forma de segmentos correspondentes no MDSt e

no MDSr utilizou-se uma função de dissimilaridade descrita na equação 5.1. Esta função busca medir o nível médio de discrepância entre cada segmento produzido automaticamente com seus correspondentes da referência. A função é definida como segue.

Seja  $S_i$  o i-ésimo segmento do MDSr e  $O_i$  o correspondente segmento do MDSt. Definem-se ainda:

- *fp<sub>i</sub>* como o número de pixels em O<sub>i</sub> que não pertencem a S<sub>i</sub> (falsos positivos);
- *vp<sub>i</sub>* como o número de pixels em *O<sub>i</sub>* que pertencem a *S<sub>i</sub>* (verdadeiros positivos);
- *fn<sub>i</sub>* como o número de pixels em S<sub>i</sub> que não pertencem a O<sub>i</sub> (falsos negativos); e
- n como o número total de segmentos de referência para os quais há um segmento correspondente delineado pelo método proposto.

A dissimilaridade média é dada por:

$$F(S,P) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{fp_i}{vp_i + fp_i}$$
(5.1)

Os valores da dissimilaridade média variam de 0 a 1. A figura 5.25 apresenta graficamente os termos envolvidos no cálculo da função de dissimilaridade proposta.



Figura 5.25: Argumentos da função de dissimilaridade.

A figura 5.26 apresenta os resultados da função de dissimilaridade aplicada a cada experimento realizado. No caso desta função, serão melhores os resultados

que apresentarem os menores valores. Observa-se então, que os resultados obtidos para os experimentos realizados no vôo de 2000 são superiores aos de 2004.



Figura 5.26: Resultados da função de dissimilaridade para vários experimentos.

# 5.3.2 Análise de cobertura

Esta seção tem por objetivo avaliar a cobertura obtida das edificações dos MDSt produzidos pelo método proposto. Para isso, foi feita a sobreposição do MDSt ao MDSr, conforme pode ser observado nas figuras 5.27 e 5.28. Esta composição é representada pelas seguintes cores:

- o Preto: áreas vazias;
- Branco: áreas onde foram encontradas edificações em ambos os MDS (verdadeiros positivos);
- Vermelho: áreas onde foram encontradas edificações somente no MDSr (falsos negativos); e
- Verde: áreas onde foram encontradas edificações somente no MDSt (falsos positivos).



Baatz & SchäpeWatershedFigura 5.27: Sobreposição do MDSt ao MDSr para o vôo de 2000.



Baatz & SchäpeWatershedFigura 5.28: Sobreposição do MDSt ao MDSr para o vôo de 2004.

A cobertura obtida para cada experimento foi calculada da seguinte forma: foi divida a área branca na imagem sobreposta pela soma das áreas brancas e vermelhas (MDSr). Os resultados da cobertura são apresentados na figura 5.29. Observa-se que o segmentador *Watershed* obteve os melhores resultados.



Figura 5.29: Cobertura do MDSt obtida para cada experimento.

# 5.3.3 Exatidão Altimétrica

Esta seção tem por objetivo avaliar a acurácia dos valores altimétricos das edificações dos MDSt produzidos pelo método proposto.

Para obter o erro altimétrico de cada segmento, calculou-se o módulo da diferença entre os valores dos planos Z do segmento do MDSt e da edificação correspondente no MDSr. A mesma análise foi feita para o MDSe, comprando-o também com o MDSr. Nesse caso, o valor do plano Z do MDSe foi estimado através do cálculo da média dos valores de Z contidos na área correspondente a área do segmento em análise do MDSt.

As figuras 5.30 e 5.31 apresentam o histograma de erros altimétricos obtidos para o vôo de 2000, utilizando-se os segmentadores de Baatz & Schäpe e *Watershed*, respectivamente. No vôo de 2000, fica evidente a melhora dos resultados a partir do método proposto, em relação ao MDS externo.



Figura 5.30: Histograma de comparação entre os erros altimétricos do MDSt e o MDSe para o vôo de 2000 utilizando-se o segmentador de Baatz & Schäpe.



Figura 5.31: Histograma de comparação entre os erros altimétricos do MDSt e o MDSe para o vôo de 2000 utilizando-se o segmentador de *Watershed*.

As figuras 5.32 e 5.33 apresentam o histograma de erros altimétricos obtidos para o vôo de 2004, utilizando-se os segmentadores de Baatz & Schäpe e *Watershed*, respectivamente.



Figura 5.32: Histograma de comparação entre os erros altimétricos do MDSt e o MDSe para o vôo de 2004 utilizando-se o segmentador de Baatz & Schäpe.



Figura 5.33: Histograma de comparação entre os erros altimétricos do MDSt e o MDSe para o vôo de 2004 utilizando-se o segmentador de *Watershed*.

Observa-se que algumas edificações apresentaram erros altimétricos com valores elevados. Este fato é devido, principalmente, à falsa correlação dos topos dessas edificações.

No caso do vôo de 2004, não houve melhora nos resultados em relação ao MDSe. Isto se deve ao fato de que as imagens do vôo de 2004 possuem qualidade inferior às do vôo de 2000. Na figura 5.34, observa-se que o grau de suavização das imagens de 2004 é maior do que nas imagens de 2000. Desta forma, a acurácia da localização da região homóloga é notadamente prejudicada. Assim, conforme a imagem é suavizada, a posição das bordas dos objetos é deslocada da



Figura 5.34: Recorte de uma mesma região das imagens dos vôos de 2000 (esquerda) e 2004 (direita).

Para ilustrar pictoricamente a melhoria trazida pelo método proposto em relação ao MDSe, são apresentadas as visualizações 3D do MDSe, do MDSt e do MDT nas figuras 5.35 a 5.37, respectivamente. Essas imagens foram geradas a partir do *software* Matlab, utilizando as respectivas orto-imagens como mapa de superfície. No caso do MDSt, foi feita uma composição desse modelo com um Modelo Digital de Elevações (MDE) extraído para este fim, resultando em um novo modelo (MDStc). Esta composição foi realizada da seguinte maneira:

$$\begin{cases} MDStc(X,Y) = MDSt(X,Y) , se MDSt(X,Y) \neq 0 \\ MDStc(X,Y) = MDT(X,Y) , se MDSt(X,Y) = 0 \end{cases}$$
(5.2)



Figura 5.35: Visualização 3D de um trecho do MDSe e sua respectiva ortoimagem para o vôo de 2000.



Figura 5.36: Visualização 3D de um trecho do MDStc e sua respectiva ortoimagem para o vôo de 2000.



Figura 5.37: Visualização 3D de um trecho do MDT e sua respectiva orto-imagem para o vôo de 2000.

### 5.3.4 Discussão dos resultados

Esta seção resume as conclusões derivadas dos resultados obtidos nos experimentos.

Na etapa de "Detecção dos topos" de edificações, observa-se que o número de segmentos de topo gerados a partir do segmentador *Watershed* é claramente superior ao número de segmentos gerados a partir do segmentador Baatz & Schäpe.

Em relação às mudanças propostas no modelo de Müller e Zaum (2005), observa-se que as máscaras de regiões de sombra introduzidas contribuíram substancialmente para a eliminação de falsos topos. Além disso, o método de detecção baseado em Análise Linear Discriminate contribuiu de modo expressivo para melhorar a detecção dos segmentos de topo de edificações.

Na etapa de "Determinação de regiões homólogas", o segmentador *Watershed* apresentou ligeira vantagem sobre o segmentador de Baatz & Schäpe. Além disso, a quantidade de pares de segmentos de topos gerados a partir do segmentador *Watershed* é significativamente maior do que a quantidade obtida a partir do segmentador Baatz & Schäpe.

Na análise da função de disparidade, verificou-se que foram poucos os segmentos que extrapolaram os limites dos segmentos de referência correspondentes. Já na análise de cobertura obtida, foi observada a vantagem do segmentador *Watershed* em relação ao Baatz & Schäpe, alcançando aproximadamente 45% de cobertura das edificações de referência.

Observa-se na figura 5.9, que o percentual de edificações analisadas nos MDSe, com erros altimétricos com valor igual ou superior a 3 m, é de aproximadamente 35%. Para aplicações de estimativa populacional, os erros dessa ordem são elevados, uma vez que, o pé direito médio de uma unidade habitacional é aproximademente igual a 3 m.

De qualquer forma, o método apresentou melhoras importantes em relação ao MDSe, para o vôo de 2000, onde o percentual de habitações que possuem erro altimétrico igual ou superior a 3 m foi de aproximadamente 15%. Entretanto, devido à qualidade das imagens do vôo de 2004, não foram observadas melhorias para este vôo, onde os resultados obtidos foram semelhantes ao MDSe.

O tempo gasto na execução de todas as tarefas necessárias à produção de um MDSt, utilizando um computador Pentium Quad-core 2,40 GHz e 4 Gb de memória RAM, foi de aproximadamente 10 minutos.

Cabe ainda ressaltar que o modelo proposto nessa Tese permite o uso de qualquer tipo de segmentador de imagens. Dessa forma, segmentadores mais eficientes que venham a ser desenvolvidos para áreas em assentamentos informais poderão ser utilizados.