

# Avaliação do uso de filtros morfológicos para obtenção de modelo digital do terreno e rede de drenagem a partir de dados LIDAR

Elizabeth Bugalski de Andrade Peixoto<sup>1</sup>  
Jorge Antonio Silva Centeno<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Universidade Federal do Paraná – UFPR/ CPGCG  
Caixa Postal 19.001 – 81531-990 - Curitiba - PR, Brasil  
centeno@ufpr.br  
elizabeth@esteio.com.br

**Abstract.** Although the LIDAR (Light Detection and Ranging) technology is not recent, it still surprises because it is a rapid survey method for large areas. It offers good precision in relatively short time. Today its application is very broad; however one of its main applications still is the generation of the Digital Terrain Model (DTM). This product, together with other data, can be used in different areas and many applications. The generation of a DTM is not simple and can be based on different algorithms. Some of them are expensive in terms of processing time. The aim of this paper is the verification of the viability of the use of a morphologic filter for the removal of elements above the terrain and the generation drainage for the hydrologic purposes.

**Palavras-chave:** MDT, Morfologia Matemática, LIDAR

## 1. Introdução

O sistema LIDAR (Light Detection and Ranging) baseia-se na determinação da altura dos pulsos laser emitidos pelo equipamento, ou seja, é o cálculo da distância entre o sensor e a superfície e o tempo de duração entre a emissão e o retorno do pulso. No Brasil o sistema LIDAR teve seu início na década de 90 e partir disso, mesmo com o seu elevado preço para compra, está difundindo-se progressivamente ano a ano. Isso se justifica pela carência de uma cartografia atualizada e pelo tempo que um levantamento convencional demora até a geração de um produto final.

Com o avanço da tecnologia LIDAR, os sistemas estão cada vez melhores. Possuem capacidade para levantamentos com alta densidade de pontos, múltiplos retornos e alta precisão planialtimétrica, possibilitando assim a detecção de feições, árvores, edificações e modelos digitais precisos em menor tempo e menor custo. Neste sentido, o aprofundamento dos estudos em dados laser em conjunto com técnicas de processamento digital de imagem tornaram automáticas algumas aplicações anteriormente lentas e manuais, como por exemplo, geração de curvas de nível, drenagem, inserção de pontos cotados. A mínima ação humana torna o produto menos subjetivo, mais preciso e muito mais produtivo.

Os algoritmos de classificação para obtenção do Modelo Digital do Terreno são diversos, porém devido à complexidade da superfície terrestre nenhum é capaz de determinar com exatidão o relevo. Neste trabalho é avaliada a geração do Modelo Digital do Terreno utilizando os dados em formato *raster* e com o uso da Morfologia Matemática. Um dos produtos utilizados na hidrologia é a rede de drenagem. Ela é derivada do MDT e é composta pelo conjunto de canais e rios de uma bacia. Neste trabalho, é avaliada a viabilidade do uso da morfologia matemática para a geração de MDT através da análise da rede de drenagem em bacias, a partir de dados LIDAR.

## 2. Revisão Bibliográfica

A Morfologia Matemática surgiu na década de sessenta, na França, onde as pesquisas de G. Matheron e J. Serra deram origem às primeiras teorias sobre o assunto e em conjunto com o Processamento Digital de Imagens (PDI) vem atualmente trazendo resultados em várias áreas.

Conforme Gomes et. al. 1994, a morfologia matemática compreende a área que estuda propriedades topológicas e estruturais dos objetos a partir de uma imagem tendo como objetivo descrever quantitativamente as estruturas geométricas e funciona como uma técnica na concepção de algoritmos de PDI, contendo ferramentas básicas como detectores de bordas e filtros morfológicos.

Segundo Banon, et.al. 1994, a base da Morfologia Matemática está no estudo de decomposições de operadores entre reticulados completos em termos de quatro classes de operadores elementares conhecidos por erosão, dilatação, anti-erosão e anti-dilatação. O método de análise de imagens pela Morfologia Matemática tem como objetivo analisar a estrutura geométrica das imagens a partir de uma máscara, ou elemento estruturante.

A combinação das operações fundamentais de erosão e dilatação produz outros dois operadores a abertura e o fechamento. Esses operadores podem ser utilizados em imagens binárias ou de nível de cinza. Em imagens de nível de cinza eles correspondem aos valores máximos e mínimos nas combinações dos valores dos pixels. Essa concepção pode ser aplicada para analisar uma superfície gerada a partir de dados LIDAR. Os valores (x, y, z) são apresentados na forma de imagem onde a elevação (z) representa a o valor digital do pixel.

Na morfologia matemática, a dilatação e a erosão de certo “p” são definidas respectivamente como:

$$dp = \max_{(xp,yp) \in \omega} (zp)$$

$$ep = \min_{(xp,yp) \in \omega} (zp)$$

Onde: dp=dilatação p

zp=elevação

xp,yp=coordenadas do objeto que pertencem a determinada janela w.

A combinação das operações de erosão e dilatação gera a operação de abertura que é a operação de erosão seguida de uma dilatação e fechamento que é a operação de dilatação seguida de uma erosão. Esses operadores são aplicáveis em dados LIDAR.

Kilian et.al. propuseram um método para remoção de elementos que não representam o modelo digital do terreno usando filtros morfológicos. No seu método, quando é aplicada a operação de abertura numa nuvem de pontos, o ponto com a menor elevação em conjunto com um determinado tamanho de janela é detectado e conforme este valor do pixel e sua vizinhança, outros pontos são identificados como terreno.

O tamanho da janela do elemento estruturante e o tipo de terreno são determinantes para o sucesso do método. Ou seja, se o tamanho do filtro for muito pequeno, elementos que não pertencem ao terreno não serão retirados, e caso oposto, também poderá ocasionar dados incorretos na imagem.

A busca atual de pesquisa de várias empresas e centros de estudos é de qual a melhor maneira automática de obtenção de um modelo digital com uma maior precisão. Segundo Sithole et al 2003, os principais métodos são:

**Declividade:** A probabilidade de o ponto mais alto não pertencer ao terreno aumenta com a diminuição da distância linear entre eles (Vosselman, 2000).

**Segmentação:** É utilizada a segmentação dos dados antes da classificação, onde assim são detectados elementos não pertencentes ao terreno, facilitando a geração (Thuy e Tokunaga, 2002).

**Bloco Mínimo:** Conhecido como *block-minimum*, esse método considera uma zona de *buffer* acima de um plano horizontal, teoricamente estejam os pontos pertencentes ao terreno.

### 3. Metodologia

Foram utilizados dois tipos de áreas para este estudo, uma área de vegetação densa, ou seja, rural e outra uma área urbana, com a presença de prédios e casas, ambas no Estado de Minas Gerais. Na figuras 1 e 2 são apresentadas as ortofotos das áreas de estudo para um melhor entendimento do processo. Ambas as áreas foram levantadas pela empresa Esteio Engenharia e Aerolevantamentos com o equipamento Leica ALS 50 II com as características apresentadas na tabela 1.



Figura 1 – Visualização das Ortofotos das áreas de estudo.

Tabela 1 – Características do levantamento LIDAR.

Tipo	Altura	FOV (ângulo de abertura)	Densidade (pontos por km <sup>2</sup> )
Rural	1700	30	1
Urbana	2000	20	1.5

Este estudo tem como objetivo avaliar o resultado de um modelo digital do terreno oriundo da utilização de filtros morfológicos sobre imagens geradas a partir de todos os pontos de um levantamento Laser. Esse método de classificação foi realizado com rotinas elaboradas no Matlab.

O processo inicial foi a transformação da superfície gerada a partir de pontos LIDAR no formato *raster*, com o tamanho do pixel de 1 metro. A figura 2 apresenta um exemplo dos pontos da área rural e a grade gerada com estes dados. Ressalta-se que os valores altos das elevações estão representados em tons claros.

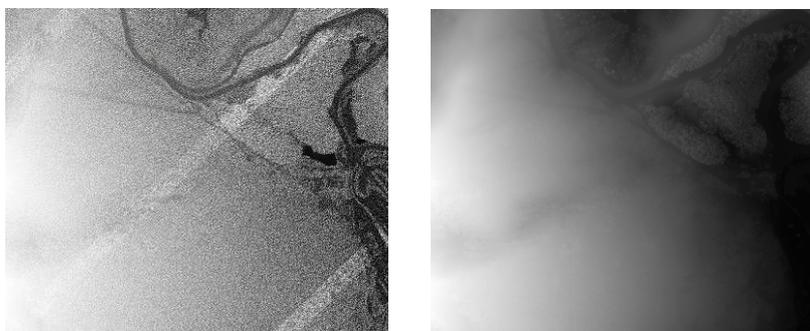


Figura 2 – Pontos do levantamento LIDAR e MDS gerado.

Após a geração das imagens da área rural e urbana, foi aplicado um filtro morfológico para a eliminação de vegetação. O operador de abertura consiste numa erosão na imagem original seguida de uma dilatação. O fechamento consiste em uma dilatação na imagem original, seguida de uma erosão.

O próximo passo foi determinar o tipo e tamanho do elemento estruturante a ser utilizado. Para isso, foram necessários alguns estudos sobre quais elementos faziam parte da área em estudo, como edificações, estradas, árvores, etc. O objetivo desta análise é verificar onde ocorreram as maiores mudanças e se regiões do terreno com alta declividade são também afetadas ao eliminar vegetação e construções. O resultado destas operações é um modelo digital do terreno sem a presença de objetos como construções e árvores.

Na figura 3 é mostrado um perfil, onde são indicados 4 pontos que representam locais com diferentes declividades. No perfil estão indicados os elementos com alturas diferentes. O terreno também possui ângulos de inclinação diferentes. A altura média das árvores de 30 metros é um ponto que dificultou o levantamento pela redução considerável de penetração, conseqüentemente a filtragem correta dos pontos.

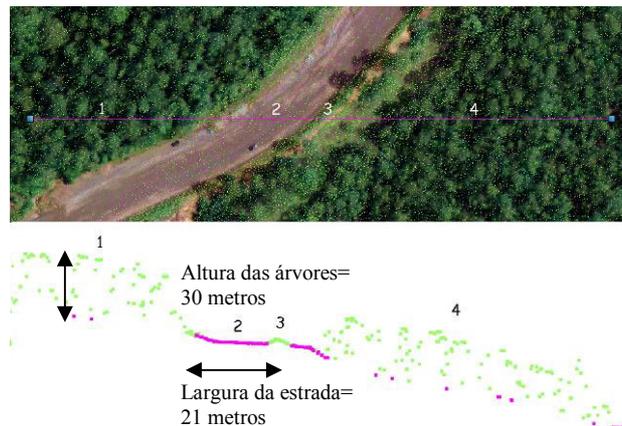


Figura 3 – Detalhe da área rural e perfil dos pontos classificados.

A inclinação do terreno na área urbana é menor, porém quanto mais altas forem as edificações, maiores serão os espaços vazios, decorrente do ângulo FOV utilizado. As indicações 1 a 4 indicam os diferentes elementos e sua representação em perfil, onde os pontos na cor verde são os elementos que não pertencem ao terreno e os pontos na cor magenta os pontos pertencentes ao terreno. O tamanho da edificação é um fator decisivo na classificação dos pontos do terreno, bem como, em filtros morfológicos.

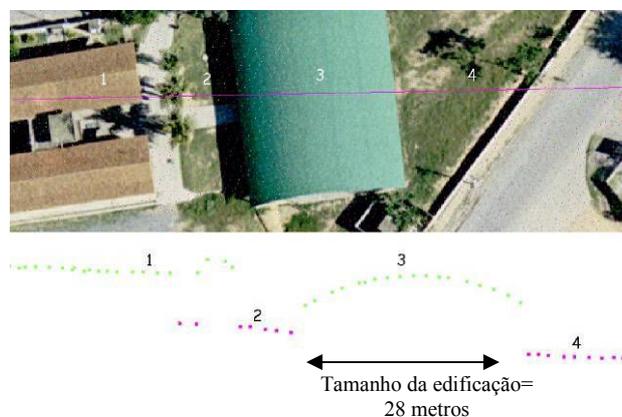


Figura 4 – Detalhe da área urbana e perfil dos pontos classificados

## 4. Experimentos e resultados

Com a finalidade de avaliar o resultado da filtragem, os dados LIDAR utilizados nesta pesquisa também foram filtrados usando os filtros do software Terra Scan, para gerar um conjunto de referência. Após essa filtragem, foi extraída a rede de drenagem do MDT de referência, usando o software ArcGis. A rede de drenagem foi compatibilizada com a escala do material em estudo, ou seja, 1:1.000. Após a extração, os vetores foram exportados como pontos para uma análise com o modelo digital do terreno resultante do filtro morfológico.

### 4.1. Filtro morfológico

A rotina do filtro morfológico elaborada no Matlab possui como parâmetro inicial o elemento estruturante em formato de disco com o tamanho 5x5, aumentado progressivamente até o tamanho 30x30, e a operação utilizada foi abertura. Esse filtro foi aplicado na imagem resultante do modelo digital de superfície, como exemplo detalhe da figura 5, onde existe uma vegetação densa, árvores com alturas variadas, as mais altas chegam a 32 metros.

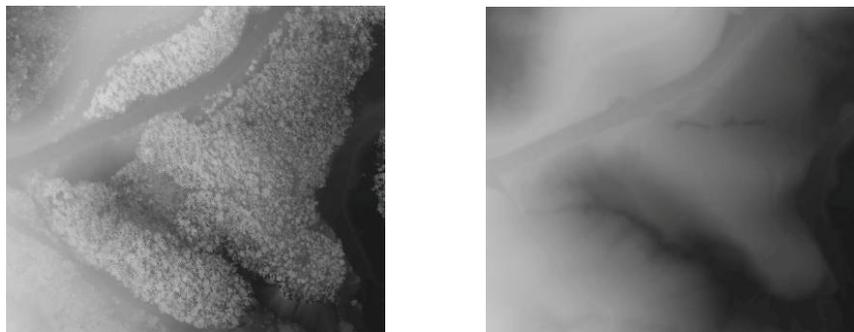


Figura 5 – Detalhe do MDS e do MDT gerado pelo Filtro Morfológico da área rural

O mesmo processo foi aplicado à imagem urbana com vários tamanhos de janela, com o objetivo de encontrar o melhor tamanho para o elemento estruturante. Inicialmente utilizou-se a janela 5x5 e a mesma foi acrescida de 5 pixels a em cada etapa, gerando assim um melhor resultado visual na janela 30x30 para a área rural e de 15x15 para a área urbana.

A imagem da área urbana passou pelos mesmos filtros, porém teve um comportamento diferente comparado ao da área rural, então foram feitos testes com vários tamanhos de janela para visualizar esse efeito. Na imagem abaixo, é possível visualizar que devido à quantidade de elementos com elevações variadas alguns elementos não pertencentes ao terreno não são filtrados.

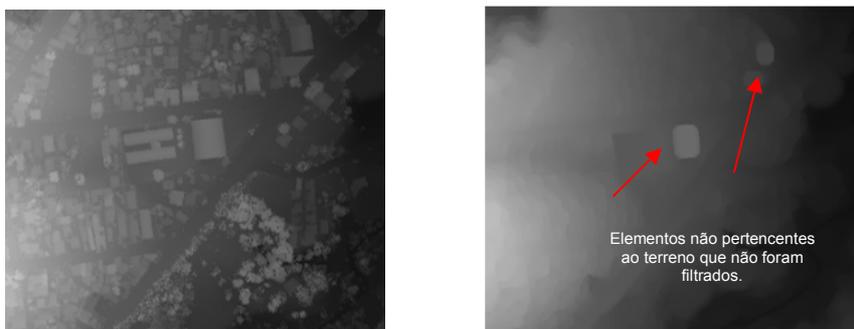


Figura 6 – MDS da área urbana e o MDT do Filtro Morfológico com elemento estruturante 10x10.

Aumentando a janela gradativamente os elementos são retirados e o produto gerado fica muito próximo ao produto gerado pelo software Terra Scan, comprovando a sua aplicabilidade. O resultado da área urbana apresentado na figura 7 possui o elemento estruturante 15x15, e foi o mais próximo sem danificar a região, comparado visualmente ao MDT gerado pelo TerraScan. Na figura 7 também foram indicados os ruídos percebidos visualmente na comparação entre as imagens, bem como a perda de detalhes.

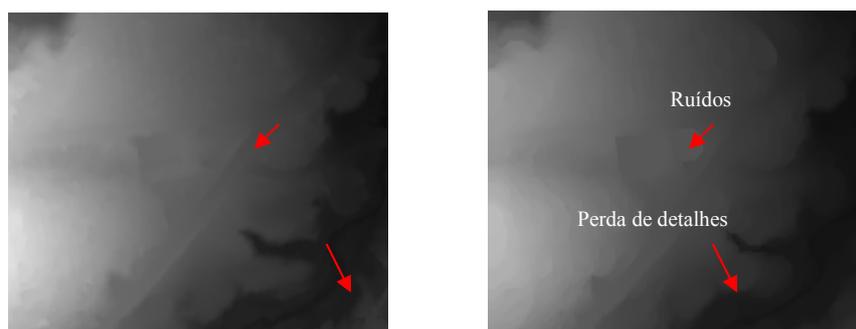


Figura 7 – MDT da área urbana gerado pelo Terra Scan e MDT do Filtro Morfológico com elemento estruturante 15x15.

#### 4.2. Avaliação do Filtro morfológico pela rede de drenagem

Como apenas o método visual não é suficiente, foi utilizada a rede de drenagem das áreas de estudo para qualificar a comprovação do método. Esta avaliação foi importante para o diagnóstico final, pois apresentou os comportamentos do filtro em vários tipos de situações e nos dois tipos de área. Na área rural os resultados foram positivos desde a geração das curvas, conforme é apresentado nas figuras abaixo, bem como a rede de drenagem na figura 8, apresentando apenas alguns ruídos, mas não descaracterizando o relevo.

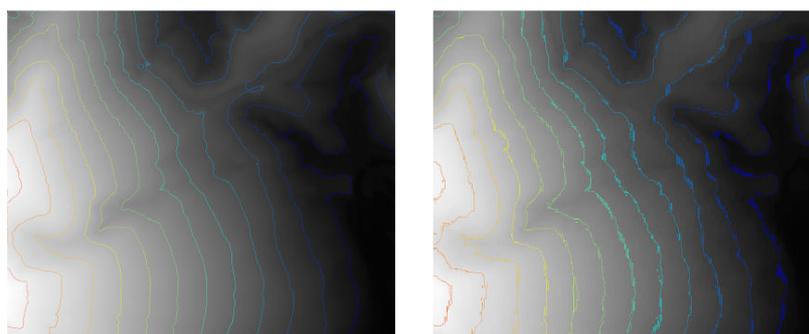


Figura 8 – MDT da área rural gerado pelo Terra Scan e pelo Filtro Morfológico com elemento estruturante 15x15 com curvas de nível.

Para áreas rurais o método de filtragem foi bem sucedido numa avaliação quantitativa comparando apenas os MDT's gerados pelos algoritmos do Terra Scan e Matlab conforme mostra a tabela 02. As deficiências apresentadas podem ser visualizadas também pela drenagem.

Nas áreas urbanas os ruídos foram menores comparados ao da área rural, inclusive a região ficou mais suavizada, porém descaracterizou algumas feições. O resultado do filtro

pode ser comparado na figura 9, onde os pontos indicados são as maiores diferenças encontradas. Na figura 10 é possível visualizar o comportamento da drenagem nas imagens filtradas. Ambas apresentaram bons resultados.

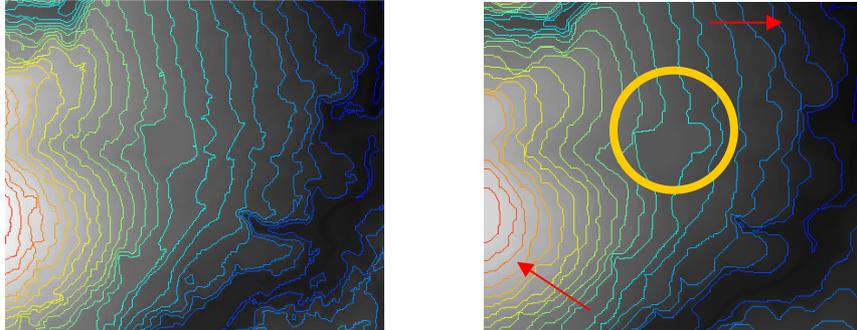


Figura 9 – MDT da área urbana gerado pelo Terra Scan e pelo filtro morfológico com as curvas de nível.

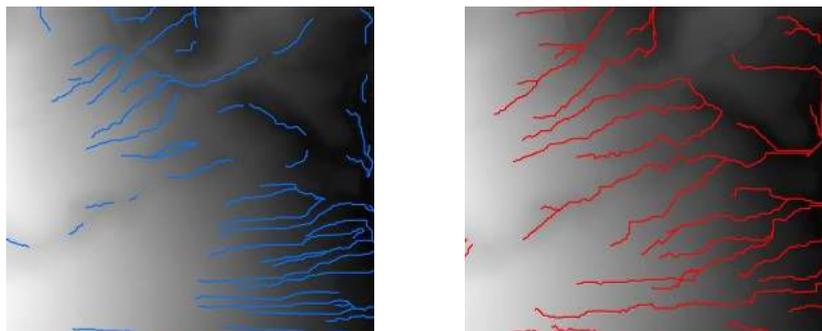


Figura 10 - Drenagem da área rural gerada com o Terra Scan (a) e pelo Filtro Morfológico com elemento estruturante 15x15 (b)

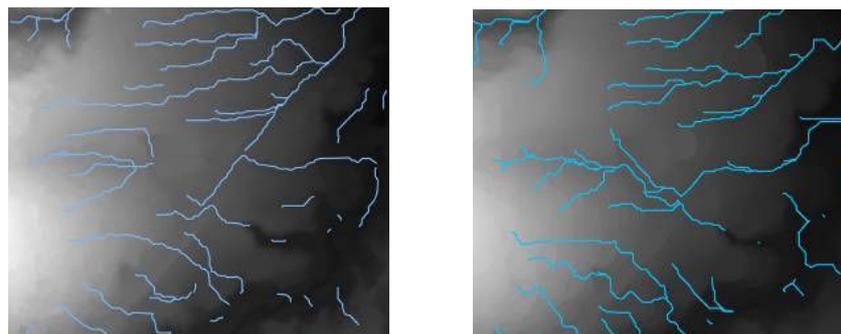


Figura 11 - Drenagem da área urbana gerada com o Terra Scan (a) e pelo Filtro Morfológico com elemento estruturante 15x15 (b)

A alteração em algumas regiões devido ao filtro morfológico, principalmente em regiões de declive, possui a vantagem de suavizar os pixels vizinhos, dando continuidade na drenagem. Na figura 11 essa continuidade é bem ilustrada. O resultado da drenagem foi obtido pelo ArcGis. A comparação da drenagem foi realizada utilizando a drenagem gerada a partir do filtro como ponto de controle comparada a superfície da drenagem do MDT original. Essa comparação foi realizada no software Terra Scan.

Tabela 2 – Resultados da comparação da drenagem.

Tipo	Pontos da drenagem	Média	Desvio Padrão	RMS
Rural	10229	2.39	4.26	4.5
Urbana	7442	1.50	2.3	2.2

A partir desses resultados, comprovou-se que o método de avaliação pela drenagem pode ser aplicado, porém não mostra os resultados com exatidão. Num processo convencional de restituição, as drenagens também apresentariam variações, pois dependem da acuidade visual de cada operador. A análise das curvas de nível apresenta um resultado mais preciso e confiável.

## 5. Conclusão

A metodologia proposta permitiu a avaliação de um Modelo Digital do Terreno gerado a partir de filtros morfológicos e comparado com modelos gerados em softwares disponíveis no mercado. As variações encontradas estão relacionadas ao tipo de elementos encontrados na área de estudo, bem como a limitação do filtro em áreas complexas. O comportamento do filtro teve maior aproveitamento em áreas planas. A linguagem adotada MATLAB apresentou uma facilidade no uso dos operadores e flexibilidade em testes e mudanças. Contudo, a Morfologia Matemática comprovou sua aplicabilidade tanto nos resultados visuais apresentados, bem como na avaliação do MDT com a drenagem, com algumas restrições em áreas urbanas, devido à diversidade de feições. O estudo da Morfologia Matemática pode ser aprofundado e em conjunto com outros filtros aplicado em vários segmentos da cartografia. Em fim, a soma de técnicas e conhecimentos de áreas diversas para um objetivo comum, faz com que o avanço na tecnologia tenha um ritmo mais acelerado.

## 5. Referências

- Facon, J. **Morfologia Matemática – teoria e exemplos**. PUC - 1996 – Curitiba-PR. 320p.
- Gonzales, R. C; Woods, R. **Processamento de imagens digitais**. São Paulo: Edgard Blücher, 2000. 508p.
- G. Vosselman, **Slope based filtering of laser altimetry data**, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens., vol. XXXIII, pp. 935–942, 2000. [Online]. Available: [www.itc.nl/personal/vosselman/papers/vosselman2000.adam.pdf](http://www.itc.nl/personal/vosselman/papers/vosselman2000.adam.pdf)
- Haala, N., **Surface Reconstruction – Digital Elevation Models** - 47<sup>th</sup> Photogrammetric Week Tutorial - Algorithms and Automation of Photogrammetric Image Data Processing, Stuttgart, 1999 .
- Haala, N. and Brenner, C., **Extraction of Buildings and Trees in Urban Enviroments**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54, pp. 130-137, 1999b
- Ishikawa, A. S.; Silva, P. H. A.; Silva, E. A. **Aplicação de operadores morfológicos na extração de feições cartográficas em imagens orbitais**. – 2005- SBSR – Goiânia – GO.
- Miqueles, M. A; Centeno, J. A. S. **Deteccão e caracterização de vegetação usando dados laser scanner aerotransportado**. – 2003 – Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas – Curitiba – PR.
- Silva, E. A.; Santos F. P.; Leonardi F.; Rodrigues T. G. **Aplicação de técnicas de Morfologia Matemática e PDI na deteção semiautomática de feições cartográficas em imagens digitais** , CBCTM, Florianópolis – SC, 1999.