

# MÉTODO INTEGRADO MODIFICADO PARA FILTRAGEM DE MALHA DE PONTOS TRIDIMENSIONAL OBTIDA VIA PROCESSAMENTO FOTOGRAMÉTRICO

## *Modified Integrated Method for Filtering Point Clouds Obtained Through Photogrammetric Processing*

**Jayme Muzzi Duarte Junior**

**Universidade Federal de Viçosa - UFV**

Departamento de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica  
Av. P.H. Rolfs, S/N  
jaymemuzzi29@gmail.com

**Éder Teixeira Marques**

**Universidade Federal de Viçosa - UFV**

Departamento de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica  
Av. P.H. Rolfs, S/N  
eder@ufv.br

**Joel Gripp Junior**

**Universidade Federal de Viçosa - UFV**

Departamento de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica  
Av. P.H. Rolfs, S/N  
jgripp@ufv.br

### **Resumo:**

Neste trabalho foi realizada uma modificação do Método Integrado utilizado no processo de filtragem de malha de pontos tridimensionais a fim de obter o Modelo Digital do Terreno (MDT). A modificação do método consiste em utilizar malha de pontos planialtimétrica, janelas de análise em formato vetorial e consequentemente foi realizada a alteração completa do algoritmo uma vez que o Método Integrado foi proposto para a estrutura matricial e não para a vetorial como abordado neste trabalho. A aplicação do Método Integrado Modificado foi realizada em uma região de relevo suave ondulado (EMBRAPA) e engloba parte da região central do município de Barão de Cocais no estado de Minas Gerais, Brasil. De modo geral, em regiões que apresentam construções com grande extensão espacial e em locais com maior densidade de vegetação o filtro apresentou dificuldades para remover pontos sobre estas feições.

**Palavras-chave:** Malha de Pontos, Filtragem, Método Integrado Modificado, MDT.

### **Abstract**

The basis of this work was to perform a modification of the Integrated Method, which is used in the filtering process of point clouds, in order to generate a Digital Terrain Model (DTM). The modification of the method consists of using point clouds and analysis windows of vector format. Since the Integrated Method was proposed for data in raster format and not to the vector as explored in this paper, the algorithm has been completely modified. The Modified Integrated Method was applied on a little undulate relief region (EMBRAPA) that includes part of the central area of the city Barão de Cocais, state of Minas Gerais, Brazil. In general, the filter will have problems to remove points on areas that contain buildings of large extents or big vegetation density.

**Keywords:** Point Clouds, Filtering, Modified Integrated Method, DTM.

## 1 INTRODUÇÃO

O cadastro técnico Multifinalitário é essencial quando é utilizado como ferramenta para gestão e planejamento urbano. Quando é bem realizado, o cadastro auxilia na distribuição justa das cargas tributárias, cria apoio para o planejamento urbano e regional, auxilia a realização de tomada de decisões a fim de proporcionar o desenvolvimento, além de ser um sistema para múltiplos usos (LOCH; ERBA, 2007).

Um dos produtos que derivam do viés da multifinalidade que o cadastro técnico possui é o Modelo Digital do Terreno (MDT). Este produto surge com o propósito de ajudar na execução de projetos de engenharia, além de ser utilizado – para o contexto urbano – nas tarefas de planejamento, ordenamento, elaboração e implantação de projetos urbanos.

Neste contexto, é possível construir o MDT de forma que represente a superfície contínua a partir de uma quantidade finita e discreta de pontos com coordenadas tridimensionais conhecidas (LI; ZHU; GOLD, 2005).

Para representar a superfície terrestre são utilizados diferentes métodos para aquisição de dados, como a topografia e a geodésia (topografia clássica, estações totais, receptores GNSS, *laser Scanner*); fotogrametria e sensoriamento remoto (utilizando pares de imagens – estereoscópica - aéreas e/ou orbitais, LIDAR, interferometria) e; Cartografia (digitalizando ou vetorizando dados existentes). O método utilizado neste trabalho para a obtenção de pontos tridimensionais foi o método fotogramétrico empregado a partir de fotografias aéreas de alta resolução espacial.

Atualmente, os sistemas sensor que permitem aquisição de imagens com alta resolução espacial tem atraído a atenção para a realização do mapeamento fotogramétrico principalmente nas áreas urbanas dos municípios de forma a contribuir na atualização do Cadastro Técnico Multifinalitário. As ortoimagens produzidas a partir das fotografias permitem extrair informações qualitativas de forma atualizada associado ao tamanho de células pequeno. Com isso é possível identificar grande quantidade de detalhes e distinguir os elementos urbanos (casa, delimitação de lotes, quadras, ruas).

Neste sentido, um dos produtos possíveis quando se utiliza um sistema sensor capaz de capturar imagens aéreas de alta resolução em conjunto com procedimentos fotogramétricos é a geração de malhas de pontos tridimensionais que retratam a superfície representada pelas elevações do terreno e das feições naturais e artificiais (vegetação e edificações) existentes sobre ele. Esta malha é obtida via processos de correspondência de pontos por meio de pares de imagens orientadas (OLIVEIRA, 2011).

A fim de retirar desta malha os pontos que não pertencem ao terreno, isto é, pontos que estão sobre as feições naturais e artificiais é aplicada técnicas de filtragem a fim de obter o MDT. Segundo Assunção (2010), atualmente há uma gama de opções de processos para filtragem e classificação de malha de pontos a fim de se obter de forma automática ou semiautomática o MDT. Contudo, para alguns processos de filtragem e classificação é necessário fornecer informações sobre o tipo de uso e cobertura da terra. De forma semiautomática, em que há necessidade da definição dos valores dos parâmetros de filtragem, pode-se citar o método da superfície (SITHOLE; VOSSSELMAN, 2003), o método morfológico, a filtragem e classificação por segmentação, detecção de contornos (BROVELLI; CANNATA; LONGONI, 2002), o método da declividade (VOSSSELMAN, 2000), o método do bloco mínimo (SITHOLE; VOSSSELMAN, 2003) e o método integrado (ASSUNÇÃO, 2010). Este

último que consiste na junção do método do bloco mínimo e o método da declividade, foi utilizado como parte da metodologia deste trabalho.

Assim, o objetivo principal deste trabalho foi realizar modificações no Método Integrado para o processo de filtragem de malha de pontos planialtimétricos obtida por processamento fotogramétrico. A modificação do método consiste em utilizar malha de pontos planialtimétrica, janelas de análise em formato vetorial e conseqüentemente foi realizada a alteração completa do algoritmo uma vez que o Método Integrado foi proposto para a estrutura matricial e não para a vetorial como abordado neste trabalho. Para avaliar a eficiência da filtragem foi calculado as discrepâncias entre o MDT obtido pela filtragem utilizando o Método Integrado Modificado e o MDT gerado pela empresa que executou o levantamento fotogramétrico, considerado como o dado de referência.

## 2 MÉTODO INTEGRADO

O desenvolvimento de métodos automáticos ou semiautomáticos de filtragem é de grande importância para a criação de um MDT. Assunção (2010) define a junção do Método do Bloco Mínimo e da Declividade como Método Integrado.

No Método do Bloco Mínimo, Sithole e Volsseman (2003) consideram um plano expandido por meio de um buffer em que todos os pontos pertencentes a este plano podem ser classificados como pertencente ao terreno. Becker e Centeno (2013) explicitam que o método separa a região de estudo em blocos e analisa seu ponto mínimo local adotando-o como ponto do terreno. É a partir deste ponto mínimo que é criado o buffer. O ponto mínimo local é caracterizado como sendo o de menor altitude dentro desta faixa. Dessa forma, pontos que se encontram fora do buffer são classificados como não pertencente ao terreno.

Já no Método da Declividade, Volsseman (2000) relata que a ideia principal do método baseia-se na grande diferença de altura entre dois pontos próximos, de forma que é improvável uma inclinação elevada em tão pequena distância para pontos do terreno. Assim, a probabilidade de o ponto mais alto não pertencer ao terreno é alta.

O método integrado é formado por um novo modelo matemático que pode classificar os pontos, atendendo os critérios dos métodos da declividade e bloco mínimo simultaneamente. A Figura 1 ilustra como ocorre a classificação dos pontos.

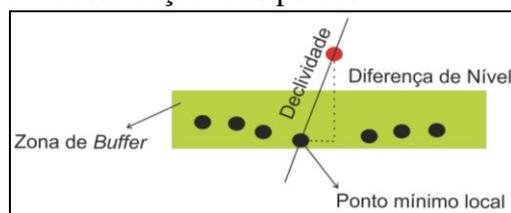


Figura 1: Ilustração do Método Integrado.

Fonte: Adaptado de Assunção (2010).

Segundo Assunção (2010), o Método Integrado trata ao mesmo tempo as deficiências relacionadas a variações no relevo, presentes na classificação por mínimos locais, e paralelamente considera a declividade entre os pontos vizinhos contemplado no método da declividade.

Assunção (2010) executou este método utilizando dados em formato raster, que possibilita a definição de grades regulares. Tais grades foram divididas em regiões para que

sejam rastreadas as células e classifica-las como pertencente ao terreno ou não. Essa região, denominada janela de busca, é composta por células da grade, como mostra a Figura 2.

Para que fosse possível a execução do Método Integrado, Assunção (2010) definiu algumas variáveis, sendo elas a altura ( $H$ ), distância euclidiana ( $Dist$ ), declividade ( $Decliv$ ), e as tolerâncias altimétrica ( $Talt$ ) e angular de declividade ( $Tangular$ ). Utiliza-se ainda, o índice  $i$  para o ponto analisado e o índice  $min$  para o ponto mínimo local. O algoritmo é apresentado no Quadro 1.

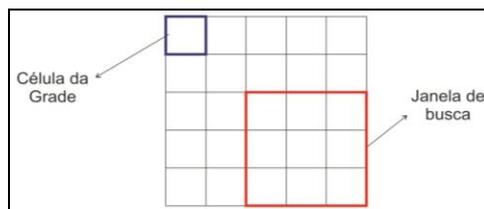


Figura 2: Grade dividida em janela para buscar mínimos locais.  
Fonte: Adaptado de Assunção (2010).

<p><b>SE</b> (<math>Decliv(i) \leq Tangular</math>] e [<math>H(i) - Hmin &lt; Talt</math>] <b>ENTÃO</b> <math>i</math> pertence ao terreno  <b>SENÃO</b> <math>i</math> não pertence ao terreno                  Onde:  <math>Decliv(i) = ([H(i) - Hmin] / Dist) * 100</math>  <math>Dist = Pmin \rightarrow Pi</math></p>
--

Quadro 1: Algoritmo do Método Integrado.

Dessa forma, para que o ponto  $i$  seja considerado como um ponto pertencente ao terreno, considere uma tolerância angular de declividade  $X$  e uma tolerância altimétrica  $Y$ . Então, a declividade do ponto  $i$  em relação ao ponto mínimo local deve ser menor que  $X$  e o desnível entre o ponto  $i$  e o ponto mínimo local menor que  $Y$ .

### 3 MÉTODO INTEGRADO MODIFICADO

O Método Integrado Modificado foi dividido em etapas para melhor entendimento da execução da filtragem. A Figura 4 mostra o fluxograma da sequência das etapas executadas.

Para que seja possível executar o método é necessário definir algumas variáveis, sendo elas a altura ( $H$ ), distância euclidiana ( $Dist$ ), declividade ( $Decliv$ ), as tolerâncias de diferença de altura ( $Talt$ ) e de declividade ( $Tdecliv$ ) cujos valores são definidos pelo usuário, além da definição do raio ( $r$ ) para a construção das janelas de análise.

Neste contexto, a definição da dimensão da janela é determinada por um raio que varia de acordo com o número de iterações. A finalidade disso, é a identificação de um ponto mínimo da janela a fim de realizar as análises de distância euclidiana e diferença de nível com os demais pontos pertencentes a esta janela, como mostra a Figura 3. Desta forma, utiliza-se os índices  $i$  e  $min$  para designar o ponto analisado e o mínimo local, respectivamente. Como já foi citado, o ponto mínimo local é caracterizado como sendo o de menor altitude dentro da janela de análise. Vale lembrar que a definição do raio da janela depende do espaçamento dos pontos na malha de pontos, isto é, quanto maior o espaçamento entre os pontos maior é o raio da janela.

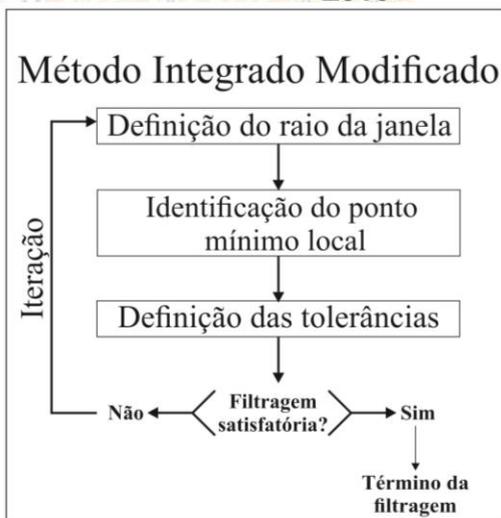


Figura 4: Fluxograma da sequência das etapas realizadas para a filtragem utilizando o Método Integrado Modificado

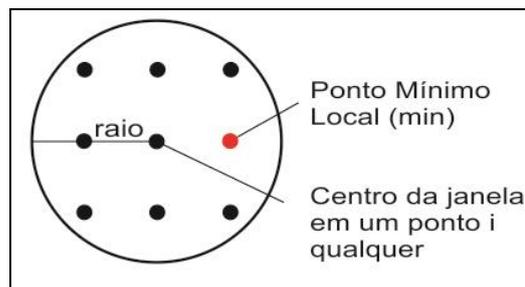


Figura 3: Janela para busca de pontos mínimos locais.

Definidas as tolerâncias, os pontos selecionados pelo Método Integrado Modificado como não pertencentes ao terreno são eliminados da malha. A definição dos valores das tolerâncias, da diferença de altura e da declividade são adotados empiricamente de tal forma que alcancem os melhores resultados no processo de filtragem. Neste contexto, são realizadas iterações aumentando o raio da janela e alterando as tolerâncias de declividade e diferença de altura. A proposta de aumentar o raio da janela a cada iteração é que seja realizada uma nova avaliação dos pontos para identificar um novo mínimo local. Desta forma, haverá novos valores para declividade e desnível. A definição dos valores do raio da janela de busca deverá ser feita de forma crescente, de modo que fique a critério do usuário o estabelecimento dos intervalos.

O critério de parada da filtragem é por meio da inspeção visual do usuário em que deve-se avaliar a condição da eliminação de todos ou a maior parte dos pontos que estão sobre as edificações e vegetação.

Neste trabalho, o algoritmo proposto por Assunção (2010) foi adaptado de acordo com o Quadro 2

**SE**  $(Decliv(i) \geq Tangular)$  ou  $[H(i) - Hmin \geq Talt]$  **ENTÃO**  $i$  não pertence ao terreno e deve ser eliminado  
**SENÃO**  $i$  pertence ao terreno  
 Onde:  
 $Decliv(i) = ([H(i) - Hmin] / Dist)$   
 $Dist = Pmin \rightarrow Pi$

Quadro 2: Algoritmo do Método Integrado Modificado

Deve-se salientar que no Método Integrado Modificado o operador de comparação ( $\geq$ ) e os operadores lógicos (*ou*, *não*) utilizados na função de condição (*se-então*) são diferentes daqueles utilizados no Método Integrado proposto por Assunção (2010). Isto deve-se ao fato de que neste trabalho foram analisados os pontos que não pertencem ao terreno sendo contrário ao método apresentado por Assunção (2010). Optou-se ainda, em analisar a declividade como uma

medida adimensional ao invés de analisar a declividade em porcentagem. Outra modificação do método consiste em trabalhar com dados em formato vetorial e a janela de análise, conseqüentemente, também é definida neste formato.

#### 4 IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO INTEGRADO MODIFICADO

O Método Integrado Modificado foi implementado por meio da ferramenta *Model Builder* no software ArcGis 10.3.1 na plataforma ArcMap. Nesta seção será mostrado o algoritmo desenvolvido do Método Integrado Modificado.

##### **Passo 1: Gerar circunferências em todos os pontos da nuvem (Tabela 1).**

Tabela 1: Comando: Buffer.

Parâmetros	
Input Features	Malha de pontos tridimensional
Distance	Comprimento do raio

**Passo2: Junção espacial dos pontos que constituem a nuvem de pontos com os círculos gerados no Passo 1. Essa junção irá determinar os pontos pertencentes a cada círculo (janela) (Tabela 2).**

Tabela 2: Comando: Join Spatial.

Parâmetros	
Target Features	Malha de pontos tridimensional
Join Features	Passo 1
Join Operation	JOIN_ONE_TO_MANY
Keep All Target Features	Marcado

Join Operation: JOIN\_ONE\_TO\_MANY. Esta opção fará que um mesmo ponto poderá estar em mais de uma janela.

**Passo 3: Junção por campo para recuperar as coordenadas dos pontos pertencentes de cada janela. Essa operação é necessária uma vez que o Passo 2 retorna apenas as coordenadas do centro dos círculos (Tabela 3)**

Tabela 3: Comando: Join Field.

Parâmetros	
Input Table	Passo 2
Input Join Field	ORIG_FID
Join Table	Malha de pontos tridimensional
Output Join Field	OBJECTID
Join Field (optional)	POINT_X
	POINT_Y
	POINT_Z

**Passo 4: Organizar a tabela de atributo do Passo 3 em ordem crescente com a finalidade de encontrar o ponto mínimo da janela (Tabela 4).**

Tabela 4: Comando: Sort.

Parâmetros	
Sort Field	Sort Method
Target Fid	Ascending
POINT_Z_1	Ascending

**Passo 5: Dissolver a tabela de atributo do Passo 4 para ficar apenas o ponto mínimo de cada janela (Tabela 5)**

Tabela 5: Comando: Dissolve.

Parâmetros		
Input Features	Passo 3	
Dissolve Field	Target_Fid	
Statistics Field	Orig Fid	FIRST
	POINT_Z_1	MIN
	POINT_X_1	FIRST
	POINT_Y_1	FIRST

**Passo 6: Junção por campo, cuja a finalidade é, levar as coordenadas tridimensionais do ponto mínimo local (Passo 5) para a janela que lhe pertence (Tabela 6)**

Tabela 6: Comando: Join Field.

Parâmetros	
Input Table	Passo 3
Input Join Field	Target Fid
Join Table	Passo5
Output Join Field	Target Fid
Join Field (optional)	FIRST_ORIG_FID
	MIN_POINT_Z_1
	FIRST_POINT_X_1
	FIRST_POINT_Y_1

**Passo 7: Calcular distância horizontal, desnível, e declividade. Todas estas análises tem como base o ponto mínimo local e um ponto qualquer que pertença a janela do ponto mínimo (Tabela 7, Tabela 8, Tabela 9 e Tabela 10)**

Tabela 7: Comando: Calculate Field

Parâmetros	
Input Table	Passo 6
Field Name	DH
Expression	$\text{Sqr}([\text{POINT\_X\_1}] - [\text{FIRST\_POINT\_X\_1}]^2 + ([\text{POINT\_Y\_1}] - [\text{FIRST\_POINT\_Y\_1}])^2)$
Field Name	DN
Expression	$[\text{POINT\_Z\_1}] - [\text{MIN\_POINT\_Z\_1}]$

Para calcular a declividade, deve-se selecionar por atributo a distância horizontal que seja diferente de zero.

Tabela 8: Comando: Make XY Event Layer

Parâmetros

XY Table	Passo 6
X Field	POINT_X
Y Field	POINT_Y
Z Field	POINT_Z
Layer Name or Table View	Passo5_Layer

Tabela 9: Comando: Select Layer By Attribute

Parâmetros

Layer Name or Table View	Passo5_Layer
Selection type	NEW_SELECTION
Expression	"DH"<>0

Tabela 10: Comando: Calculate Field

Parâmetros

Input Table	Passo5_Layer
Field Name	DECLIV
Expression	[DN] / [DH]

**Passo 8: Selecionar por atributo a tabela do Passo 7, os pontos que estão acima da tolerância de declividade ou desnível, ou seja, selecionar os pontos que não pertencem ao terreno (Tabela 11)**

Tabela 11: Comando: Select Layer By Attribute

Parâmetros

Layer Name or Table View	Passo 7
Selection type	NEW_SELECTION
Expression	DECLIV >=TolDecliv OR DN >= TolDN

**Passo 9: Selecionar por localização os pontos que deram origem ao processamento do Método Integrado Modificado (Tabela 12).**

Tabela 12: Comando: Select By Location.

Parâmetros

Input Feature Layer	Malha de pontos tridimensional
Relationship	INTERSECT
Selecting Features	Passo 8
Selection type	NEW_SELECTION

**Passo 10: Excluir os pontos que não pertencem ao terreno (Tabela 13).**

Tabela 13: Comando: Delete Feature.

Parâmetro

Input Features	Passo 9
----------------	---------

Para melhor compreensão da implementação da ferramenta acima descrita, as Figura 5 e Figura 6 mostram um fluxograma que ilustra a sequência das etapas que são executadas. O círculo em azul representa a entrada de dados, o retângulo amarelo corresponde ao nome do comando utilizado e o círculo verde é a saída de dados.

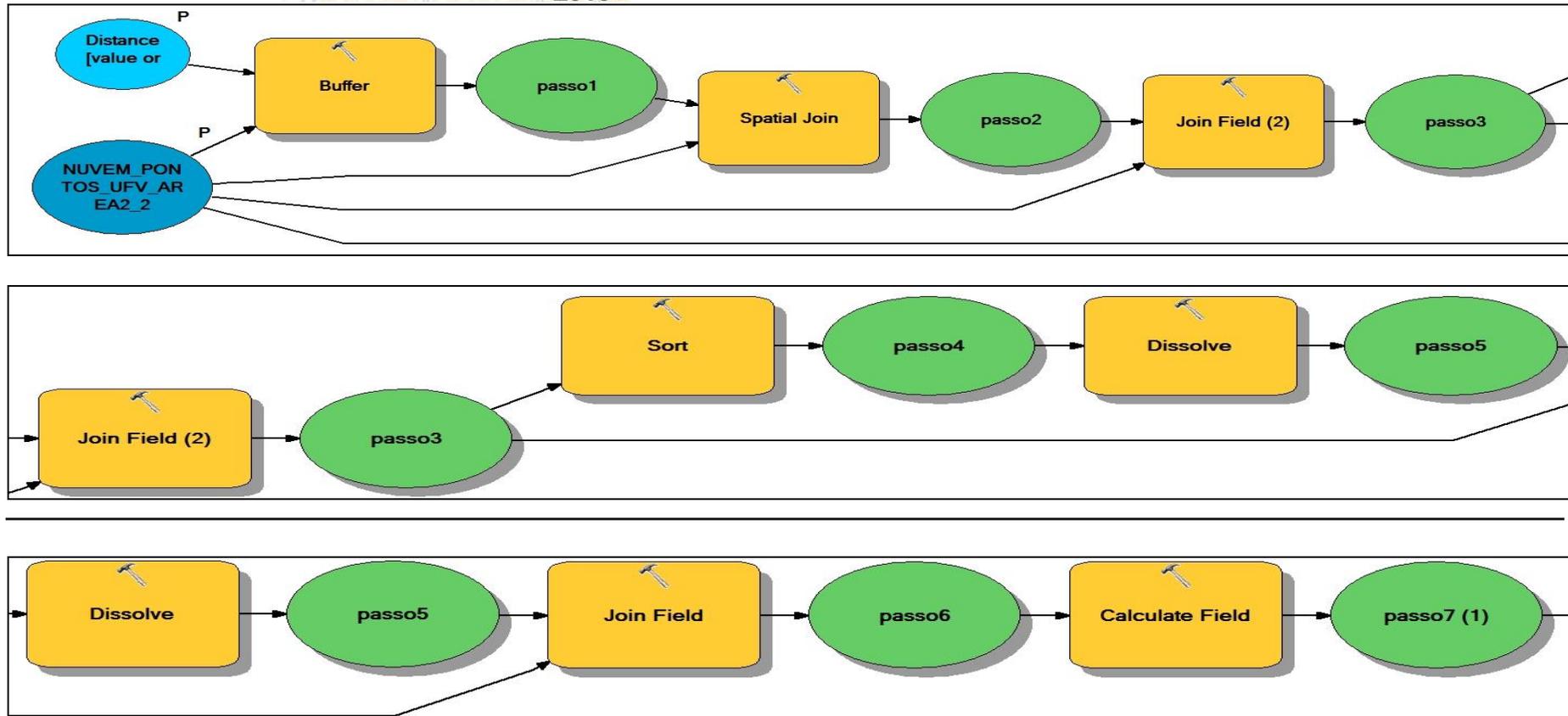


Figura 5: Parte 1 - Fluxograma da implementação da ferramenta Método Integrado Modificado no ArcGis 10.3.1 – plataforma ArcMap.

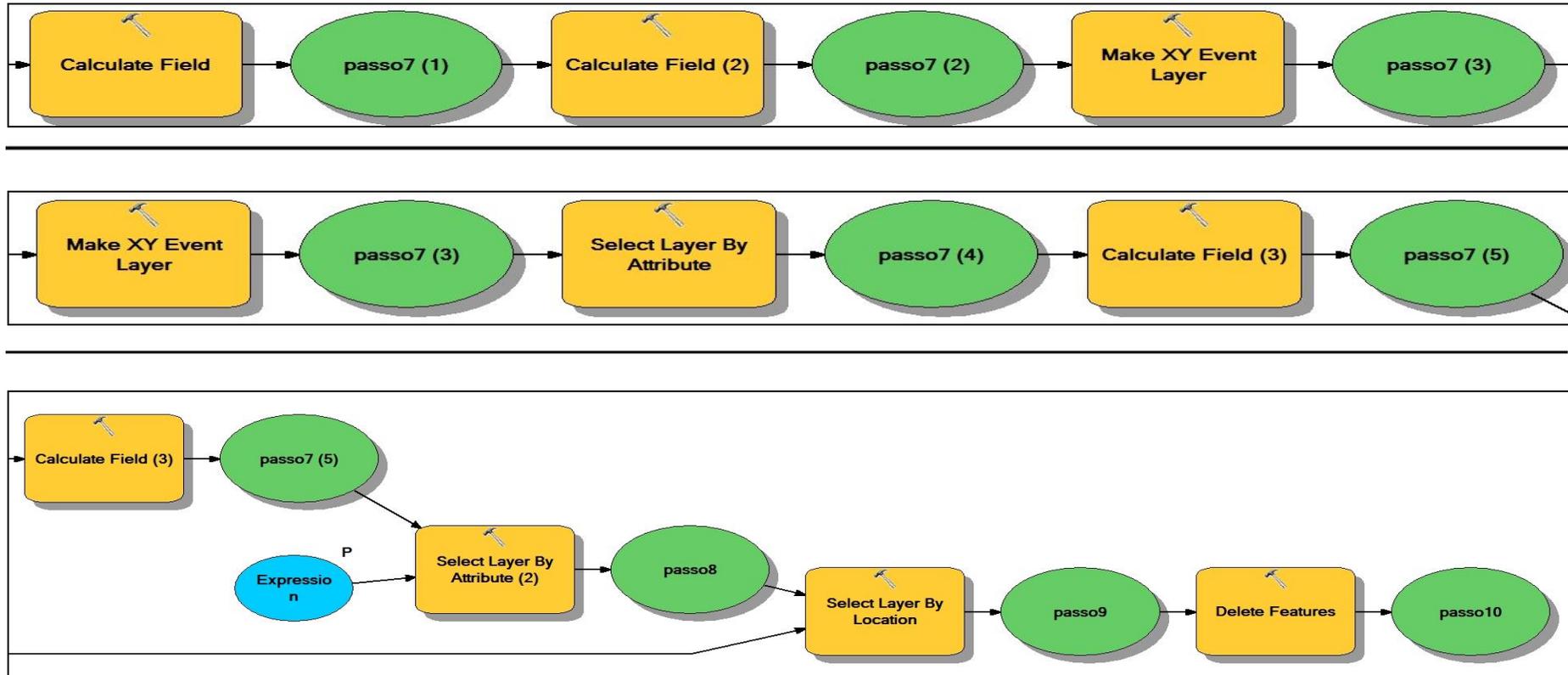


Figura 6: Parte 2 - Fluxograma da implementação da ferramenta Método Integrado Modificado no ArcGIS 10.3.1 – plataforma ArcMap.

## 5 EXPERIMENTO

O procedimento adotado para a realização da filtragem e avaliação dos resultados é apresentado no fluxograma da Figura 7.

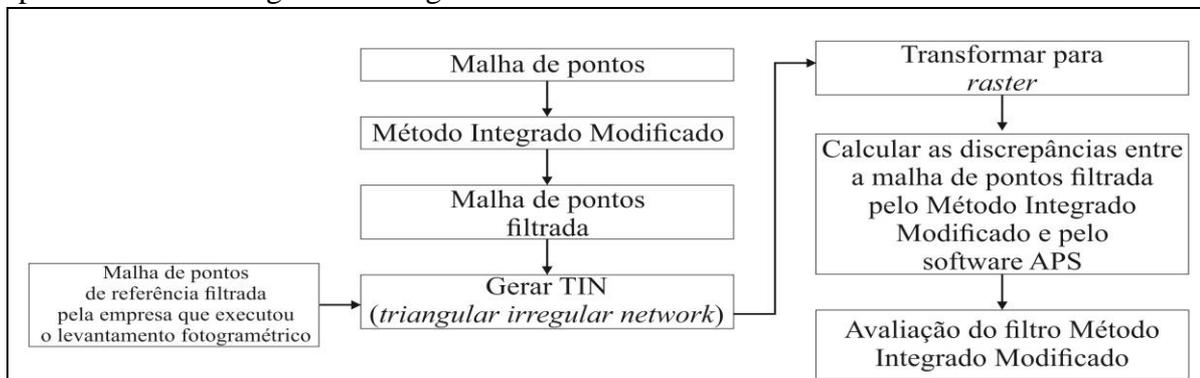


Figura 7: Fluxograma das etapas realizadas

Para aplicação do método Integrado Modificado e posterior avaliação do seu resultado foi definido uma região de estudo com 15.5841 ha. A sua declividade média é de 4.27% e, segundo as classes de relevo da EMBRAPA, esta área possui um relevo suave ondulado por apresentar declividade média entre 3 a 8 %. A área de estudo engloba parte da região central do município de Barão de Cocais, Minas Gerais, Brasil. A Figura 8 mostra os limites da região de estudo.

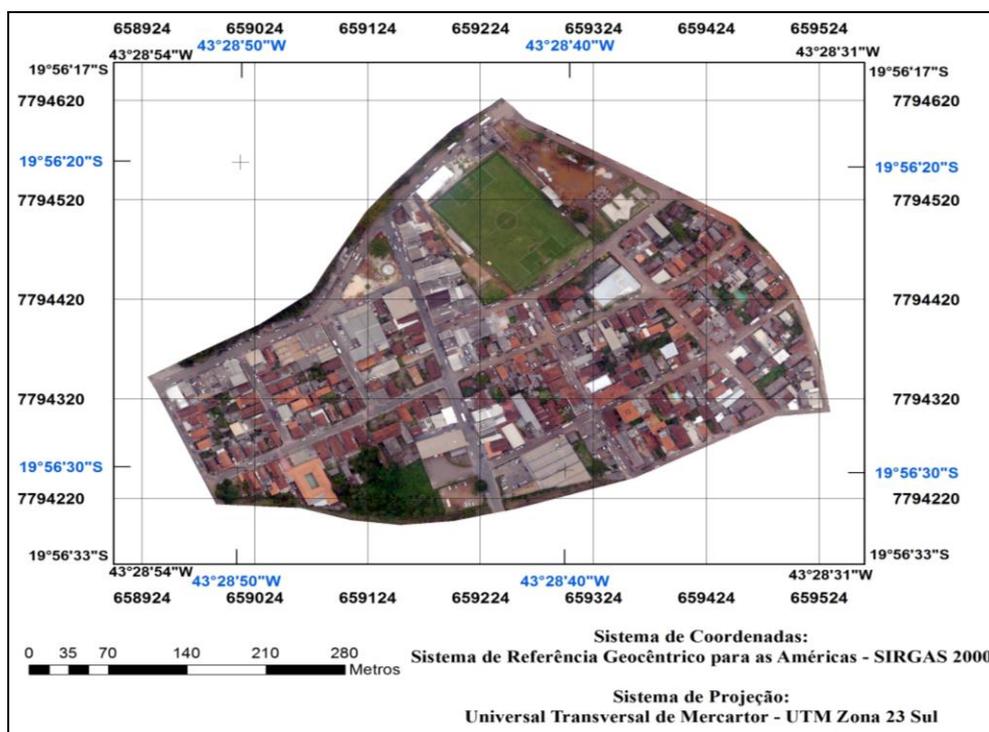


Figura 8: Representação da área de estudo

A malha de pontos tridimensional utilizada neste trabalho é regular com espaçamento entre pontos igual à 2.5 metros sendo produto do levantamento fotogramétrico utilizando sistema sensor de alta resolução espacial realizado por uma empresa particular executado em junho de 2015. A altura de voo média foi de 380 metros e o modelo da câmera utilizada para capturar as imagens

foi a Panasonic Lumix DMC-GX1. O tamanho da célula das ortofoto é de 10 centímetros. Todo o processamento fotogramétrico foi realizado em software comercial.

A definição dos valores dos parâmetros utilizados no processo de filtragem é mostrada na Tabela 14. Para a região em estudo foi preferido valores de raios não superiores a 12 metros uma vez que o processamento se torna demasiadamente moroso. Vale ressaltar que para diferentes regiões de estudo e malhas de pontos deve-se definir novos valores para os parâmetros.

Tabela 14: Valores dos parâmetros utilizados na filtragem

Iteração	Raio da janela (m)	Tolerância da declividade (m/m)	Tolerância de Diferença de Altura (m)
	Área 1	Área 1	Área 1
1	4	0.3	2
2	4	0.2	2
3	8	0.25	3
4	8	0.2	2.5
5	12	0.25	6
6	12	0.2	2.75

De modo geral, a cada iteração a filtragem vai ficando mais restritiva. A explicação para que tenha duas iterações com valores de raio iguais será dada da seguinte forma:

Considere a Figura 9 (a) em que  $i, j, k$  são os centros das janelas  $V, U, W$  e que possui como ponto mínimo  $min(V), min(U), min(W)$ , identificados pela cor vermelha, respectivamente. Suponha que na primeira iteração o ponto central  $i$  da janela  $V$  seja removido por ter sido classificado como não pertencente ao terreno. Conseqüentemente a janela de análise  $V$ , gerada pelo ponto  $i$ , também será removida e deixará de existir - Figura 9 (b) -. Na segunda iteração, considerando o mesmo valor de raio, permanecerão as janelas cujo ponto central não foi removido pela filtragem na iteração anterior, como mostra a Figura 9 (b). Note que é possível que o ponto mínimo da janela possa ser eliminado pela ação da filtragem, como apresentado pela Figura 9 (b) em que o ponto mínimo da janela  $W$  foi eliminado em decorrência da filtragem. Desta forma, foi encontrado outro ponto mínimo para a janela  $W$ . Com isso, pode ser que sejam definidos mínimos locais diferentes da primeira iteração, na condição de que não tenha sido eliminado na iteração anterior. Por conta disso, se forem definidos novos mínimos locais então os valores de desnível e de declividade serão diferentes dos que foram calculados na iteração anterior. Desta forma, visto que foram eliminados pontos que estão acima da tolerância, por exemplo 0.35 para a declividade, resta agora, na segunda iteração, eliminar pontos cujo intervalo seja menor, por exemplo 0.2 para a declividade, que na iteração anterior, resultando na Figura 9 (c).

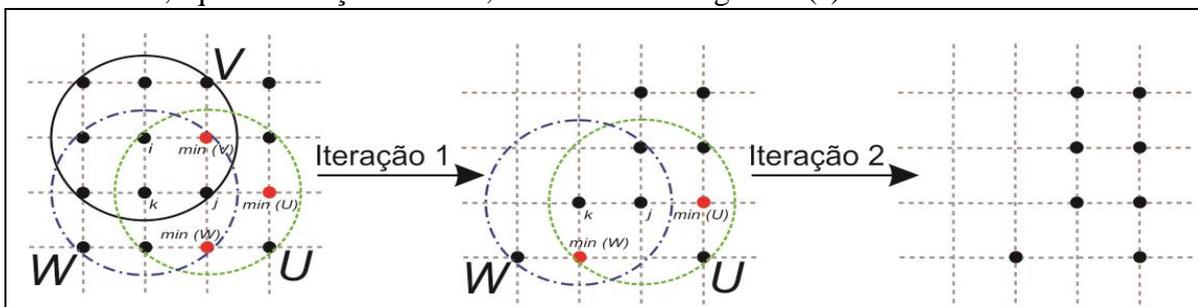


Figura 9 (a) - Esquerda: Definição das janelas de análise e dos pontos mínimos locais. (b) - Centro: A janela U eliminou os pontos  $i$  e  $min(W)$ . Com isso foi definido um novo ponto mínimo local para a janela W. (c) - Direita: Eliminação do ponto  $k$  e resultado da filtragem para a segunda iteração

## 6 RESULTADOS

A seguir serão apresentados os resultados da filtragem pelo Método Integrado Modificado. De acordo com o filtro, os pontos na cor vermelha foram considerados pertencente ao terreno.

A Figura 10 apresenta algumas quadras urbanas da região de estudo na qual é possível ver a ausência de pontos sobre as edificações e vegetações. Contudo a Figura 11 mostra que ocorreram erros de omissão, isto é, não foi realizada a filtragem dos pontos sendo que na verdade era para ter ocorrido a filtragem uma vez que os pontos estão sobre a edificação e vegetação e, portanto, não pertencem ao terreno. O que pode estar associado com os erros de omissão, no caso dos pontos sobre a edificação, é que o maior raio da janela adotado (12 metros) foi insuficiente para que tenha um ponto que pertence ao terreno. Em outras palavras, criando um círculo de raio igual à 12 metros em qualquer um dos pontos sobre a edificação, não foi encontrado um ponto que pertença ao terreno e, portanto, os valores de desníveis e declividade calculados para esta janela são pequenos. De modo geral, construções com áreas grandes tais como supermercados, shopping center, armazéns, galpões é de se esperar que ocorra este tipo de erro (SITHOLE; VOSSSELMAN, 2004).

Já o erro de omissão no caso dos pontos sobre a vegetação pode ser explicado pelo fato de que em locais de vegetação densa haverá dificuldade em realizar a filtragem justamente por não ter pontos que são do terreno (SITHOLE; VOSSSELMAN, 2004).

A Figura 12 mostra a ocorrência do erro de comissão. Isto é, pontos que são do terreno e que foram eliminados pela ação do filtro ocasionando uma filtragem equivocada. O que pode explicar o fato é que com o incremento do raio da janela de análise, a região de menor altitude (Parte baixa) ficou sendo o mínimo local e com isso os pontos da região de maior altitude (Parte alta) foram eliminados por terem diferença de níveis consideráveis e portanto acima da tolerância adotada.

Neste contexto, a Figura 13 apresenta a mesma região da Figura 12 em que os pontos de cor azul foram classificados como pertencente ao terreno de acordo com a filtragem da empresa que executou o levantamento fotogramétrico. Pode-se observar que a filtragem também gerou erro de comissão.

As Figura 14, Figura 15 e Figura 16 apresentam as discrepâncias calculadas para as mesmas áreas das Figura 10, Figura 11 e Figura 12 entre o MDT – denominado de MDTcalc – obtido pela filtragem utilizando o Método Integrado Modificado e o MDT – denominado de MDTref – obtido pela filtragem da empresa que executou o levantamento fotogramétrico, considerado como o dado de referência.

De modo geral, as maiores discrepâncias apresentadas pela Figura 14 são da ordem de 1,5 metros. Entretanto, as maiores discrepâncias de toda a região de estudo são mostradas na Figura 15 que são da ordem de 11 metros para os pontos que estão sobre a edificação e 5 metros para os pontos sobre a vegetação.

A Figura 16 mostra as discrepâncias causadas por erros de comissão ocorridos tanto pela filtragem do Método Integrado Modificado como pela filtragem do software. Neste caso é contestável as discrepâncias calculadas uma vez que, a filtragem utilizando o Método Integrado Modificado destacou-se por manter mais pontos do terreno do que a filtragem do software comercial.

A Tabela 15 apresenta a média, o desvio padrão, e o RMS das discrepâncias calculadas para a área de estudo. Também são apresentados o menor e o maior valor das discrepâncias. Pode-se observar que o RMS das discrepâncias foi igual a 0,65 metros e os valores de mínimo e máximo iguais à -1,80 e 11,85 metros, respectivamente. O baixo valor calculado para o RMS mostra que no geral a filtragem teve um bom índice de acerto no processo de classificação e filtragem. Os maiores valores de discrepâncias são causadas por erros de omissão ocorrido na filtragem pelo

Método Integrado Modificado ou erros de comissão gerado pela filtragem da empresa que executou o levantamento fotogramétrico.



Figura 10: Resultado da filtragem. Os pontos na cor vermelha foram considerados pertencente ao terreno

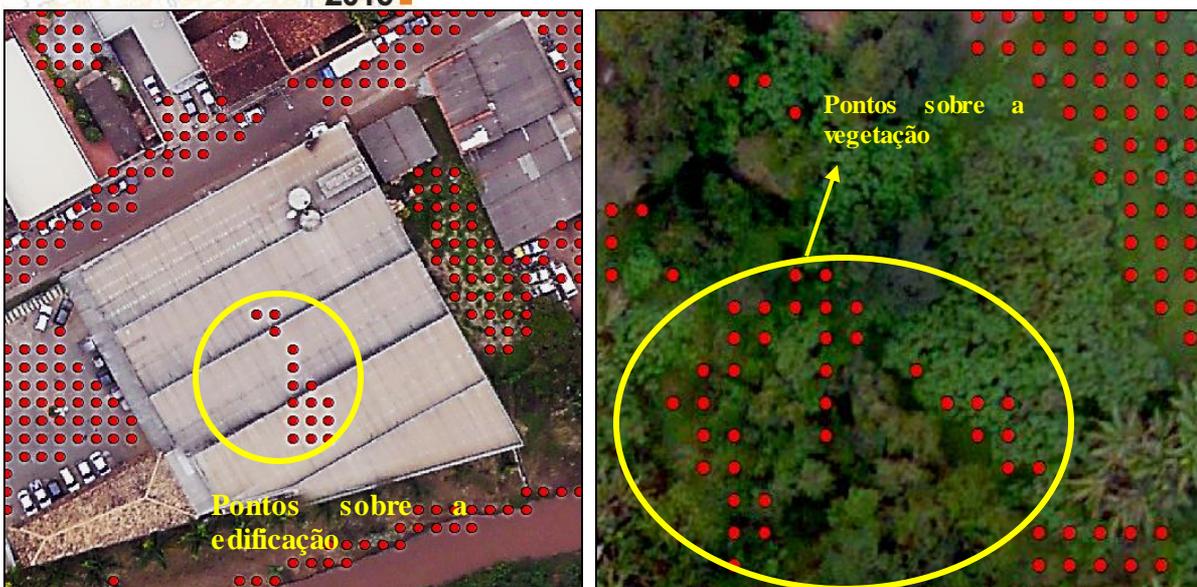


Figura 11: Erro de omissão. Pontos que não pertencem ao terreno que deveriam ter sido eliminados



Figura 12: Erro de comissão. Pontos que pertencem ao terreno e que foram removidos pela ação da filtragem



Figura 13: Erro de comissão gerado pela filtragem utilizando o software comercial

Discrepância (m) (MDTcalc - MDTref)

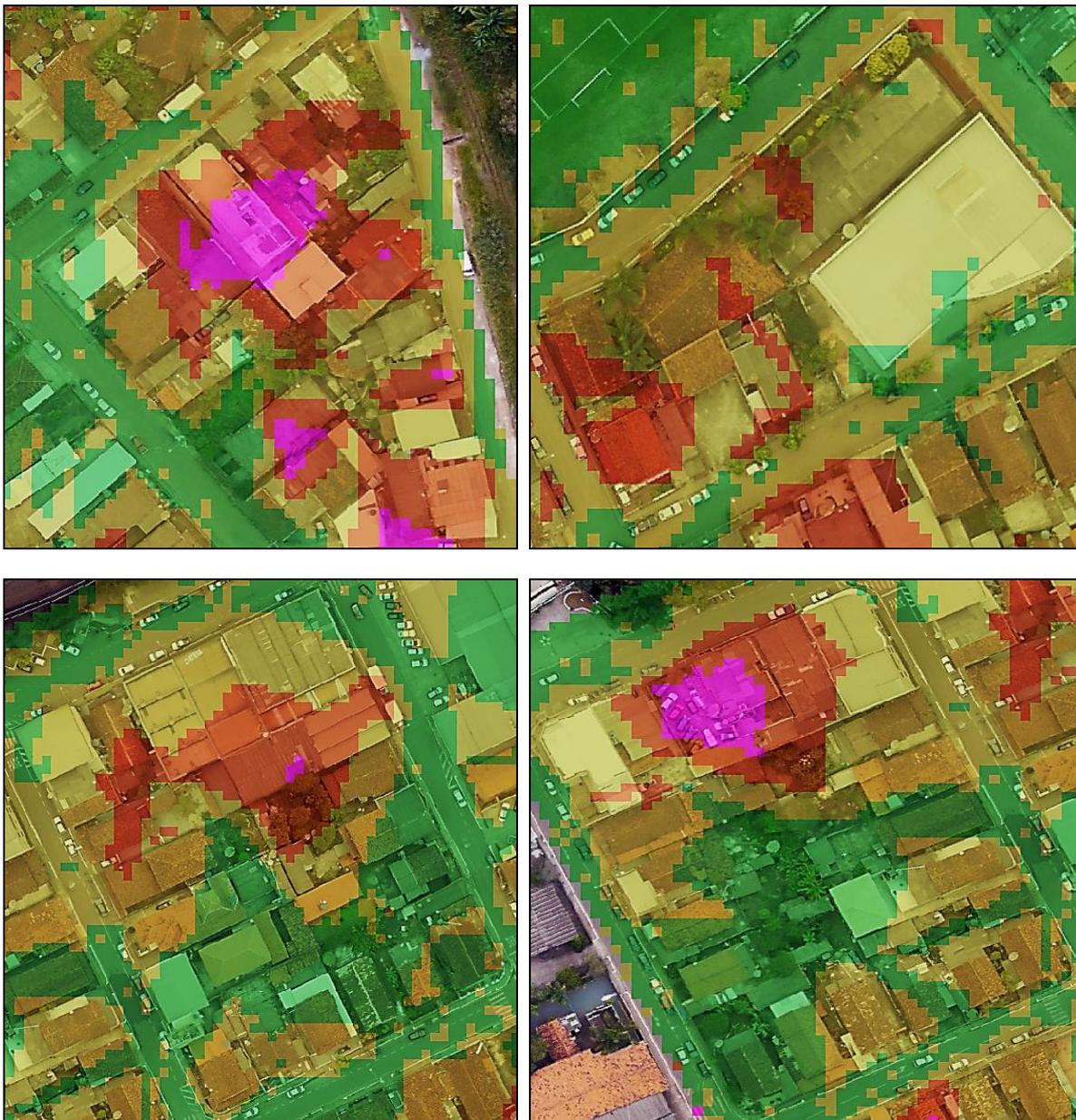
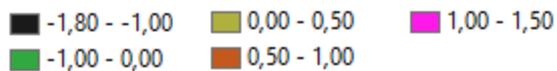


Figura 14: Discrepâncias entre o MDTcalc e o MDTref

Discrepância (m) (MDTcalc - MDTref)

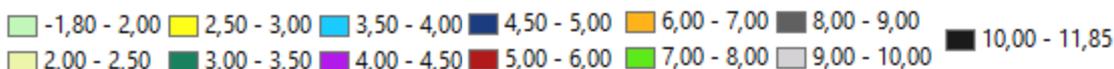


Figura 15: As maiores discrepâncias entre o MDTcalc e o MDTref

Discrepância (m) (MDTcalc - MDTref)

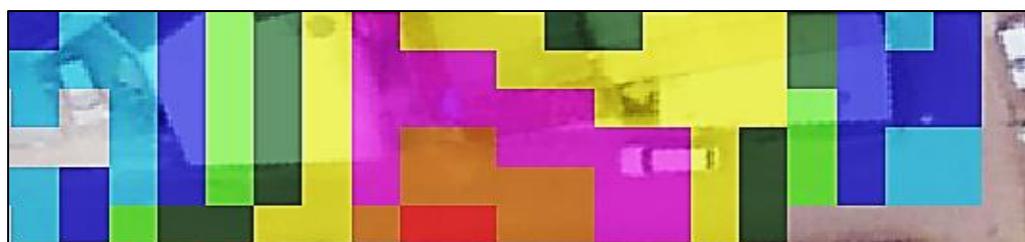
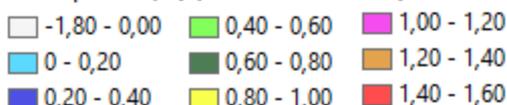


Figura 16: Discrepância devido aos erros de comissão pela filtragem do Método Integrado Modificado e pelo software

Tabela 15: Estatística descritiva das discrepâncias para a área de estudo

Estatística descritiva	Valor(m)
Média	3,60
Desvio padrão	3,06
RMS	0,65
Mínimo	-1,80
Máximo	11,85

## 7 CONCLUSÃO

Diante dos resultados exibidos ao longo deste trabalho, nota-se que o objetivo de classificar os pontos como terreno foi alcançado parcialmente. Como já mencionado, nas regiões que possuem construções de grande extensão espacial e em locais com maior adensamento de vegetação o filtro terá dificuldades na remoção dos pontos sobre estas. A solução para isto não seria apenas aumentar

o raio da janela na tentativa de encontrar um ponto mínimo local que esteja no terreno. Isso poderia ocasionar o erro de comissão. Uma forma para remover os pontos remanescentes sobre as edificações e vegetação seria a intervenção do usuário a fim de removê-los manualmente.

O baixo valor calculado para o RMS indica que a filtragem utilizando o Método Integrado Modificado executada na área de estudo teve um bom índice de acerto no processo de classificação e filtragem dos pontos. Embora tenha ocorrido erros de omissão e comissão na filtragem pelo Método Integrado Modificado, estes erros ocorreram com pouca frequência e estão distribuídos em pequenos grupos. Desta forma a remoção manual dos pontos remanescentes sobre as edificações e a vegetação torna-se mais simples.

Vale ressaltar que na filtragem de referência foram cometidos erros de comissão e, em virtude disto, em algumas regiões da área de estudo a filtragem utilizando o Método Integrado Modificado foi melhor do que a filtragem de referência por ter mantido maior quantidade de pontos sobre a superfície do terreno.

Recomenda-se para trabalhos futuros aprimorar a eficiência do Método Integrado Modificado para classificação de pontos do terreno. Isto compreende em melhorar a definição dos valores dos parâmetros (raio da janela de busca, tolerância de diferença de altura e de declividade) de tal forma que para cada janela de análise será calculado os valores das tolerâncias de diferença de altura e de declividade diferentemente do que foi proposto na qual, para cada iteração, os valores dessas tolerâncias são aplicados para todas as janelas.

## Agradecimentos

Agradeço aos orientadores por fomentar conhecimento na área de Cadastro Técnico Multifinalitário e a prefeitura de Barão de Cocais – MG por subsidiar o projeto.

## Referências Bibliográficas

ASSUNÇÃO, M. G. T. **Desenvolvimento de métodos de filtragem e classificação de pontos LIDAR para a geração automática do modelo digital do terreno.** Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2010 66 p.

BECKER, J. H.; CENTENO, J. A. S. **Avaliação de Métodos de Filtragem de Nuvem de Pontos Derivados do Sistema Laser Scanner Aerotransportado para obtenção de MDT.** Revista Brasileira de Cartografia N° 65/4: 651-659. 2013.

BROVELLI, M. A.; CANNATA, M.; LONGONI, U. M. **Managing and processing lidar data within GRASS.** In: Open Source GIS – GRASS user conference 2002. Anais. Trento, Italy: [s.n.], 2002.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/>>. Acesso em: 12 jun. 2016.

LI, Z.; ZHU, Q.; GOLD, C. **Digital terrain modeling: principles and methodology.** Boca Raton, Florida: CRC Press, 2005. 318 p.

LOCH, CARLOS. **Cadastro técnico multifinalitário: rural e urbano** / Carlos Loch, Diego Alfonso Erba. - Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy, 2007.

OLIVEIRA, L. F. **Análise de modelos digitais de superfície gerados a partir de imagens do sensor PRISM/ALOS.** 2011. 184 f. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Engenharia Civil. Faculdade de Ciências Espaciais, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2011.

SITHOLE, G.; VOSSELMAN, G. **Comparison of Filter Algorithms.** International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. 34, Part 3/W13, pp. 71-78, 2003



12º Congresso de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial  
10º Encontro de Cadastro Técnico Multifinalitário para os países do Mercosul  
7º Encontro de Cadastro Técnico Multifinalitário para os países da América Latina  
ISBN 1980 - 4520

SITHOLE, G.; VOSSELMAN, G. **Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds.** ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing, 2004

VOSSELMAN, G., **Slope Based of Laser Altimetry Data.** International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing. Vol. 33, Part B3, Amsterdam, p 935 - 942, 2000.