

MAPEAMENTO DE CÓRREGOS DE CABECEIRA SOB DOSSÉIS FLORESTAIS UTILIZANDO DADOS LIDAR

Using LIDAR Data to Map Headwater Streams Under Forest Canopy

Rodrigo Pinheiro Ribas

Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG
Instituto de Geociências - Departamento de Cartografia
Av. Antônio Carlos, 6627 – 31270-901 – Belo Horizonte - MG, Brasil
ribasrod@yahoo.com.br

RESUMO

Uma técnica de sensoriamento remoto que tem tido um progresso promissor na criação de dados topográficos em áreas florestais é o sistema Airborne Laser Scanner (ALS), baseado na tecnologia Light Detection and Ranging (LIDAR). Equipamentos usando a tecnologia LIDAR são capazes de criar um conjunto de pontos com informação de coordenadas X, Y e Z. O processamento dos dados extraídos por meio da tecnologia LIDAR permite a geração de produtos como o Modelo Digital do Terreno (MDT). Este trabalho avalia a capacidade do sistema ALS no mapeamento de córregos de cabeceira em áreas sob dosséis florestais, sendo este mapeamento útil em diversas análises de redes de drenagem. O mapeamento dos córregos de cabeceira será avaliado através de uma análise de correlação dos dados obtidos pelo sistema ALS com dados mensurados em campo. Os dados de sensoriamento remoto deste estudo foram adquiridos através de um sistema de perfilamento a laser aerotransportado LEICA ALS-50 com frequência de até 150 kHz.

Palavras chave: Sensoriamento Remoto Ativo, Modelo Digital de Terreno, Perfilamento a Laser Aerotransportado, Redes de Drenagem.

ABSTRACT

A remote sensing technique that has had promising progress in the creation of topographic data in forested areas is the Airborne Laser Scanner (ALS), technology-based Light Detection and Ranging (LIDAR). Equipments using the LIDAR technology are capable of creating a set of information points with coordinates X, Y and Z. The processing of the data extracted using LIDAR technology enables the generation of products such as Digital Terrain Model (DTM). This paper tests the ability of the Airborne Laser Scanner (ALS) to map headwater streams under forest canopies which is useful in various analysis mapping drainage networks. The mapping of headwater streams will be assessed through a correlation analysis of data obtained by the ALS with data measured in the field. The remote sensing data of this study were acquired through a system of profiling airborne laser Leica ALS-50 with a frequency of 150 kHz.

Keywords: Active Remote Sensing, Digital Terrain Model, Aerial Laser Scanner, Channel Networks.

1. INTRODUÇÃO

A identificação precisa e um correto mapeamento de nascentes e dos córregos de cabeceiras são fundamentais para a caracterização dos processos hidrológicos em pequenas bacias (WHARTON, 1994). Os córregos de cabeceira, muitas vezes representam mais de 75% do comprimento de canais em uma bacia (LEOPOLD *et al.*, 1964). O mapeamento dos córregos de cabeceira com acurácia é útil na análise das redes de drenagem, transmitindo informações de densidade e fluxo para análises hidrológicas. Além disso, os fluxos

em canais de pequeno porte são muitas vezes relacionados com o habitat de macroinvertebrados (WIPFLI *et al.*, 2007), biodiversidade regional (MEYER *et al.* 2007), a dinâmica de nutrientes e qualidade das águas subterrâneas (ALEXANDER *et al.*, 2007).

Fotografias aéreas e mais recentemente satélites comerciais de alta resolução tem sido usados em estudos para identificação de ravinas e córregos de cabeceira, sendo importantes ferramentas no desenvolvimento do conhecimento dos mesmos. Esses métodos não têm muita eficácia em áreas cobertas por

densa vegetação, observando que os canais mapeados não trazem informação precisa, sendo muitas vezes simplificados e equivocados em relação a sua forma e localização real. Com a necessidade de geração de dados topográficos em áreas cobertas por florestas, a utilização da tecnologia LIDAR, tornou-se viável. Muitas vezes citada como sistema ALS, que são os sistemas montados em aeronaves, capazes de voar sobre o terreno a ser mapeado, se refere a uma técnica de sensoriamento remoto ativo que pode ser utilizada para a obtenção de dados topográficos com grande precisão. Este estudo demonstra a capacidade dos dados topográficos gerados a partir do sistema ALS em mapear os córregos de cabeceira numa área sob densa cobertura vegetal.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área do estudo situa-se no município de Brumadinho (Figura 1), inserido na Região de Planejamento Central do Estado de Minas Gerais, conforme a divisão regional adotada pelo Governo do Estado de Minas Gerais. De acordo com a divisão do Brasil organizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, esse município pertence à Região Sudeste e a Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte. A área está inserida em uma Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN), pertencente ao Instituto Inhotim, inserido no fuso 23, tendo como coordenadas UTM SAD 69, 581.983,655 E / 7.774.349,231 N.

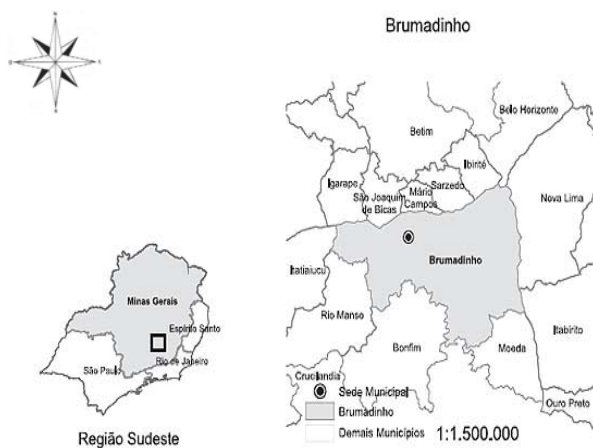


Fig.1 – Localização da área de estudo

2.1.1. Clima

Grande parte do Quadrilátero Ferrífero está dominada pelo clima tropical de altitude, com verões suaves, resultantes da influência altimétrica da massa

equatorial continental, que estaciona na área continental durante o verão, e assim, pode ser caracterizado pelo modelo de classificação climática feito por Köppen, como clima do tipo Cwb. Entretanto é encontrado em áreas mais deprimidas, onde as altitudes estão entre 750 e 850m, o clima do tipo Cwa característico por apresentar temperaturas médias anuais superiores à 21°C. Brumadinho enquadra-se no tipo Cwb, classificado como temperado chuvoso (mesotérmico) ou subtropical de altitude, com inverno seco e verão chuvoso.

O balanço hídrico é o processo de contabilização da água no solo, onde a precipitação representa a entrada e a evapotranspiração a saída de água. O excedente hídrico representa a água sujeita à infiltração, percolação ou escoamento superficial. O consumo é a umidade extraída do solo, através da evapotranspiração real. A deficiência hídrica reflete a quantidade de água que deixa de ser evapotranspirada, no período seco, por insuficiência de umidade no solo. De acordo com dados da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC) (1985) a precipitação total anual da região varia entre 1200 a 1500 mm. O índice hídrico anual está em 60 mm. O déficit hídrico anual está entre 100 e 200 mm e o excedente hídrico anual está em torno de 500 mm. Desta forma, para a região em questão tem-se um balanço positivo e favorável à acumulação de recursos hídricos em drenagens superficiais e/ou em aquíferos.

2.1.2. Solo

No Quadrilátero Ferrífero os solos são pouco desenvolvidos. Tal fato deve-se às condições de relevo e geológica do substrato. A rapidez com que os materiais detríticos retrabalhados pela pedogênese são removidos por processos denudacionais, tais como movimentos coletivos de solo e escoamento superficial difuso e concentrado, condiciona a formação de solos pouco desenvolvidos nesta região. De uma maneira geral, predominam os cambissolos e os neossolos. Sabe-se que com os ciclos de erosão e sedimentação verificados na região do Quadrilátero Ferrífero durante o Quaternário, os solos produzidos nas zonas de interflúvio foram transportados (gravitacionalmente ou através de erosão hídrica) e depositados em vários pontos da vertente (VALADÃO e SILVEIRA, 1992). Os perfis descritos permitiram a distinção de duas classes principais de solo, como sendo Neossolo coluvial e Cambissolo. Uma das principais características dos Cambissolos e Neossolos é serem pouco profundos e, muitas vezes, cascalhentos.

Segundo Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) (2004) a classe dos Neossolos compreendem solos minerais pouco desenvolvidos, caracterizados pela ausência de horizonte B diagnóstico. Os Neossolos coluviais estão presentes nas baixas e médias vertentes onde há uma forte acumulação de material coluvionar advindo das vertentes superiores. São solos minerálicos, porosos, com textura arenosa

média a grossa, cascalhento, com elevada pedregosidade, sendo esta marcada pela presença de seixos e matações de itabirito compacto e chapinha. Possui consistência macia, quando seco, e firme quando úmido; é não plástico, não pegajoso e com baixa cerosidade.

Os Cambissolos compreendem solos minerais, não hidromórficos, com o horizonte Bi subjacente a horizonte A de qualquer tipo, exceto A húmico ou horizonte hístico. O relevo predominante desses solos é o forte ondulado e montanhoso. São dominantes nas áreas íngremes das escarpas serranas, onde em geral ocorrem ao lado de Neossolos e de afloramentos de rocha.

2.1.3. Caracterização geológica e geomorfológica

A região onde está situada a área de estudo expressa um relevo característico do Quadrilátero Ferrífero, que constitui uma das áreas clássicas da geologia do Proterozóico no mundo, além de ter grande importância para o país devido aos vastos depósitos de minério de ferro que nela se encontram. De acordo com Almeida (1977), o Quadrilátero Ferrífero está inserido no extremo sul do Cráton São Francisco (Figura 2). Este cráton compreende a maior parte do estado da Bahia e estende-se às regiões vizinhas de Minas Gerais, Sergipe, Pernambuco e Goiás. Segundo Alkmin *et al* (1993), o Cráton São Francisco deve ser compreendido como a área continental que restou estável a partir de uma grande placa litosférica neoproterozóica que sofreu processos de subducção e colisão.

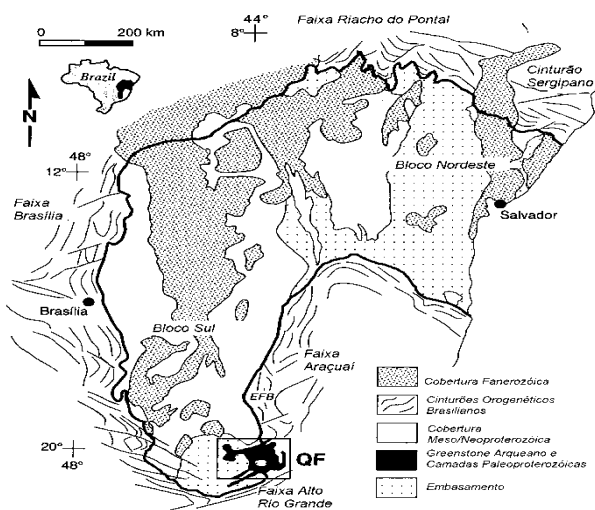


Fig.2 – Cráton São Francisco. Fonte: Alkmin *et al* (1993)

No contexto regional, a área em foco está localizada na serra da Farofa, extremo oeste do Quadrilátero Ferrífero. Esta serra é um prolongamento da serra do Curral, estando estruturada sob a forma de um homoclinal invertido. O relevo é montanhoso, com

grandes declividades, com altitudes variando de aproximadamente 700 a 1.200 metros. A dinâmica do relevo está fortemente controlada pela presença de rochas fortemente resistentes à erosão, como é o caso de itabiritos e quartzitos. As acumulações principais ocorrem nas encostas das serras e nas baixas vertentes, neste caso, relacionadas com a dinâmica fluvial.

2.2. Sistema ALS

O sistema ALS (Figura 3) é constituído por três componentes principais, sendo eles o Laser, *Differential Global Positioning System* (dGPS) que calcula a posição (x, y, z) do sensor no espaço e o *Inertial Measurement Unit* (IMU) que é responsável pelo cálculo da inclinação do sensor nas três direções (WEHR e LOHR, 1999).

O funcionamento do sistema se baseia em um pulso laser disparado em direção a superfície da terra, por meio do tempo decorrido durante a emissão e a captura do pulso, realiza-se o cálculo da distância entre a superfície atingida pelo laser e o sensor. Esta é uma técnica de sensoriamento remoto capaz de gerar o MDT ao se aplicar um procedimento de filtragem nos dados LIDAR, dentre os diversos procedimentos existentes na literatura (VOSSSELMAN, 2000; WACK e WIMMER, 2002; SITHOLE e VOSSSELMAN, 2003). De acordo com Lohmann e Schaeffer (2000) um MDT é obtido a partir da eliminação das elevações (edificações, vegetação, etc.) dos dados referentes ao Modelo Digital de Superfície (MDS), num processo chamado de filtragem. O uso da tecnologia LIDAR integrada à produção de MDT³⁵ constitui uma área de pesquisa bastante ativa e que tem sido objeto de muitos estudos recentes (TIMBÓ ELMIRO *et al.*, 2006).

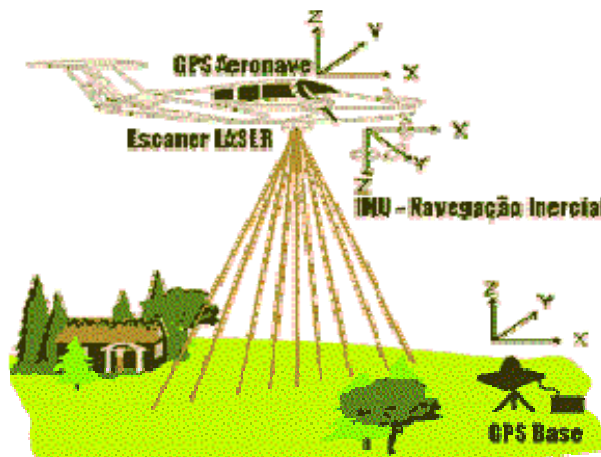


Fig. 3 – Sistema ALS. Fonte: ESTEIO Engenharia e Aerolevantamentos S.A

2.2.1. Dados LIDAR

Os dados laser (Tabela 1) foram adquiridos com o aparelho ALS-50 da fabricante Leica (Figura 4). O levantamento foi realizado pela empresa ESTEIO Engenharia e Aerolevantamentos S.A para a mineradora

Velocidade de voo	252 km/h
Altura de voo	2151 m
Frequência de perfilamento	32.2 Hz
Ângulo de varredura	30°
Densidade de pontos (média)	0,99 pontos m ²

Ferrous e cedido por esta para fins de pesquisa acadêmica.

TABELA 1: PARÂMETROS DO LEVANTAMENTO A LASER



Fig. 4- Sensor LEICA ALS-50. Fonte: ESTEIO Engenharia e Aerolevantamentos S.A

2.3. Metodologia

A nuvem de pontos gerada pelo sistema ALS disponibilizada para este estudo foram filtradas utilizando o *software TERRASCAN*. Segundo Soinen (1999) o *TERRASCAN* é um *software* desenvolvido pela *Terrasolid Limited*, dedicado ao processamento de pontos com coordenadas tridimensionais gerados por sistemas de *laserscanner*, que pode lidar com milhões de pontos em diversas rotinas otimizadas para um bom desempenho. O *TERRASCAN* é um aplicativo componente do *MICROSTATION*, ambiente *Computer-aided Design* (CAD), capaz de ler pontos em arquivos

de texto com extensão XYZ e arquivos binários. O *TERRASCAN* possui a ferramenta (*classify – routine – ground*) que realiza uma filtragem automática na nuvem de pontos laser gerados pelo LIDAR. De acordo com Temba (2008) o princípio que norteia o funcionamento da ferramenta é o da declividade (inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal), sendo que ao considerar a nuvem de pontos altimétrica medida pelo sensor laser, a ferramenta (*classify – routine – ground*) filtra os pontos ao traçar um plano tangente à superfície terrestre a partir de um ponto P. Segundo Loch *et al* (2004) o processo de filtragem se desenvolve em duas etapas: (1) A ferramenta pesquisa os pontos com cotas mais baixas e constrói uma grade *Triangular Irregular Network* (TIN). Na maioria das vezes os triângulos deste modelo inicial, têm os lados mais baixos que a superfície terrestre, com poucos vértices tocando o terreno e essas irregularidades são removidas pelo programa, na próxima fase (2) o programa inicia a modelagem da superfície do terreno, adicionando mais pontos ao modelo tornando-o cada vez mais próximo do formato real do terreno. Os pontos que são adicionados no modelo são definidos por parâmetros de iteração, a saber: ângulos e distâncias. Esses parâmetros determinam quão próximos os pontos devem estar do plano de um triângulo para que possam ser aceitos no modelo construído. O MDT criado a partir do processamento no *TERRASCAN* foi produzido em formato vetorial de pontos, sendo estes dispostos de maneira irregular.

Numa próxima etapa foi realizada a transformação do modelo de formato vetorial para raster e na disposição dos pontos regularmente. Com esta finalidade os arquivos vetoriais foram importados para o *software ENVI 4.4*, que possui um módulo para processamento e visualização de dados LIDAR chamado *LIDAR Toolkit*. O procedimento inicial para a geração dos modelos é a interpolação dos valores de altura contidos no MDT com o propósito de se criar uma matriz bidimensional ou grade de formato regular, na qual cada célula da grade ou pixel formados por um par de coordenada (x,y) descrevem a altura do pulso *laser* neste ponto. O método de interpolação utilizado foi o “vizinho mais próximo”, este método foi escolhido pela sua característica de assegurar que o valor interpolado seja um dos valores originais, ou seja, não gera novos valores. A resolução do pixel na grade de todos os modelos foi de 1 metro.

Com o objetivo de salientar as transições e tornar mais nítida as bordas dos córregos de cabeceira na imagem foi aplicado um filtro de passa-alta com peso 10. As drenagens identificadas no MDT foram digitalizadas e tiveram seu comprimento mensurado por meio do *software ArcGIS 9.2*. Para comparação com o resultado obtido pelo *software*, os comprimentos de nove trechos dos córregos mapeados foram mensurados em campo (trechos demarcados pelos polígonos amarelos na Figura 7). Para mensuração das drenagens em campo foi utilizada metodologia descrita em Christofolletti (1980).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapeamento dos córregos de cabeceira a partir do MDT gerado pelos dados adquiridos com a tecnologia LIDAR foi realizado em escala 1:1.000 (Figura 5). O resultado do filtro Passa-Alta aplicado na imagem (Figura 6), devido a sua característica de realce das altas frequências, tornou mais nítidas as transições entre regiões diferentes, conhecidas como bordas, realçando os detalhes da imagem e assim melhorando a identificação dos córregos.

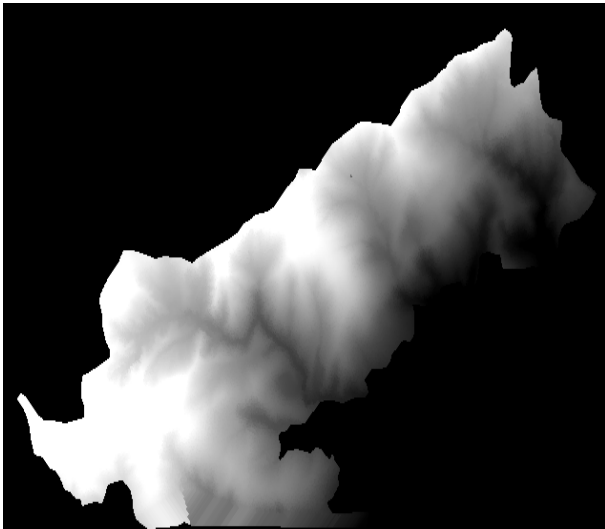


Fig.5 – MDT em raster com pixel de 1 metro

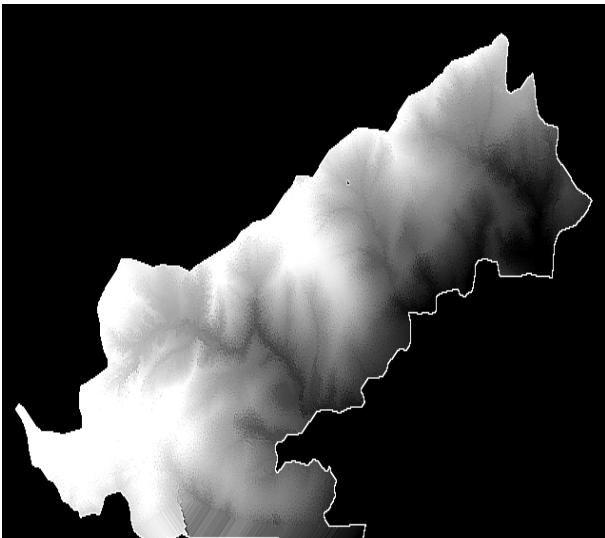


Fig.6 – Aplicação do filtro detector de bordas

Após a digitalização da drenagem (Figura 7), foi identificado um padrão predominantemente dendrítico, baseado na classificação de Christofolletti (1980). O comprimento de trechos dos córregos mensurados em campo e dos extraídos por meio do

sistema ALS (Tabela 2) foi avaliado por meio de uma análise de correlação, na qual o coeficiente de correlação r resultou em 0,99, mostrando alta correspondência entre as medidas. Foi observado também que as medidas extraídas a partir do sistema ALS tendem a superestimar o comprimento dos córregos de cabeceira.

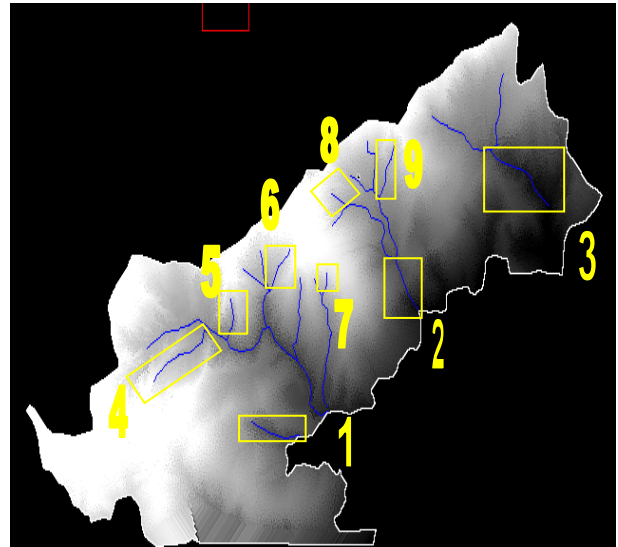


Fig.7 - Córregos de cabeceira extraídos por meio do sistema ALS

TABELA 2: Comprimento de trechos dos córregos medidos em campo e no MDT

Trechos/Córregos	Campo	MDT
1	235.5	244.9
2	211.2	219.1
3	342.3	356.2
4	318.7	327.4
5	129.1	146.7
6	203.5	210.8
7	81.2	90.9
8	59.8	70.6
9	216.7	230.4

4. CONCLUSÃO

A proposta deste trabalho foi a de verificar a capacidade de mapear córregos de cabeceira a partir de dados provenientes de um sistema ALS. Os resultados apresentados demonstram que é possível o mapeamento dos córregos com boa precisão, onde o coeficiente de correlação r resultou em 0,99, apresentando alta correspondência entre as medidas de campo e as extraídas por meio do sistema ALS, indicando o grande potencial desta técnica no mapeamento de drenagens localizadas sob densos dosséis florestais. É um produto de grande valia para a modelagem hidrológica, monitoramento da qualidade da água e gestão ambiental em projetos que envolvam o uso das águas e a

conservação da biodiversidade relacionada a esses ecossistemas.

Os resultados se demonstram promissores, no entanto, tendo em vista que esta técnica de sensoriamento remoto é relativamente recente, devem ser realizados novos estudos utilizando um conjunto maior de amostras e também com novos métodos de mensuração dos córregos de cabeceira e de drenagens em geral a partir do sistema ALS.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece a bolsa fornecida pela CAPES e as empresas Ferrous e ESTEIO pelo fornecimento dos dados LIDAR.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, R.B.; BOYER, E.W.; SMITH, R.A.; SCHWARTZ, G.E.; MOORE, R.B. **The Role of Headwater Streams in Downstream Water Quality**. Journal of the American Water Resources Association 43. DOI: 10.1111/j.1752-1688.2007.00005.x. 2007.
- ALKMIM, F.F; NEVES, B.B.B.; ALVES, J.A.C. Arcabouço tectônico do Cráton do São Francisco- uma revisão apud Domiguez, J.M.L. & Misi, A. (eds.) Simpósio Sobre o Cráton do São Francisco. **Reunião Preparatória**. Salvador, SBG/SGM/CNPq. 1993. p. 45-62.
- ALMEIDA, F.F.M. **O Cráton do São Francisco**. Rev. Bras. Geo. 1977. 7:349-364.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2ª Edição, 1980.
- CPRM -Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Projeto APA Sul RMBH: estudos do meio físico, pedologia**. Edgar Shinzato, Amaury de Carvalho Filho. Belo Horizonte: CPRM/EMBRAPA/SEMAD. 2004.
- CETEC-MG-FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **Diagnóstico ambiental do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte. 1983.158p.
- LEOPOLD, L.B., WOLMAN, M.G., MILLER, J.P.. **Fluvial Processes in Geomorphology**. W.H. Freeman and Co., S.F. 1964.
- LOCH, R. E. N.; SCHÄFER, A. G.; VARGAS, R. M. A. **Filragem e Classificação de Pontos Laser scanner utilizando o Software TERRASCAN**. UFSC. Geodésia Online. 2004.
- LOHMANN, P.; SCHAEFFER, M. **Approaches to the Filtering of Laser scanner Data**. ISPRS, Vol. XXXIII, Amsterdam, 2000.
- MEYER, J.L., D.L. STRAYER, J.B. WALLACE, S.L. EGGERT, AND G.S. HELFMAN. **The Contribution of Headwater Streams to Biodiversity in River Networks**. Journal of the American Water Resources Association. 43, DOI: 10.1111/j.1752-1688.2007.00008.x.2007.
- SITHOLE, G.; G. VOSSSELMAN. **Comparison of Filter Algorithms**. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Informatin Sciences. Vol. 34, Part 3/W13, 2003.pp. 71-78.
- SOININEN, A. **Terrascan for microstation, user's guide**. Helsinki: Terrasolid. 1999.
- TEMBA, P.C. **Ajustamento Simultâneo do Bloco de Faixas do Laser Scanner Aerotransportado (ALS)**. Tese de Doutorado. Universidade federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 2008.
- TIMBÓ ELMIRO, M.; DUTRA L. V.; MURA J. C.; FREITAS C. C.; SANTOS J. R. **Avaliação de dados de altimetria da floresta amazônica baseados nas tecnologias Insar, LiDAR e GPS**. In: Revista Brasileira de Cartografia No 58/03. 2006.
- VALADÃO, R.C.; SILVEIRA, J.S. Estratigrafia quaternária e evolução do relevo no Complexo Bação: dados preliminares. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 6., Ouro Preto. **Anais**. R. Escola de Minas, 1992.45:85-87.
- VOSSSELMAN, G. **Slope based filtering of laser altimetry data**. In Proceedings of IAPRS (Amesterdam, The Netherlands) ,XXXIII, Part B3, 2000. P.935-942.
- WACK, R.; A. WIMMER. **Digital Terrain Models from Airborne Laser Scanner Data – A grid Approach**. International Archives of Photogrammetry. Remote Sensign. Vol. 34, Part B3, Graz. Pp. 293-296., 2002.
- WEHR, A.; LOHR, U. **Airborne laser scanning—an introduction and overview**. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, v. 54, 1999. p. 68–82.
- WHARTON, G. **Progress in the use of drainage network indices for rainfall-runoff modelling and runoff prediction**. Progress in Physical Geography 18 (4), 1994. p.539–557.
- WIPFLI, M.S., J.S. RICHARDSON, AND R.J. NAIMAN. **Ecological Linkages Between Headwaters and Downstream Ecosystems: Transport of Organic Matter, Invertebrates, and Wood Down Headwater Channels**. Journal of the American Water Resources

Association 43, DOI: 10.1111/j.1752-
1668.2007.00007.x. 2007.