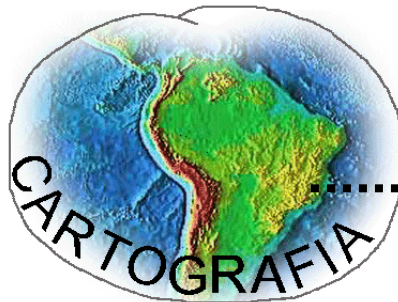


Alonso Ulisses de Souza Lopes

Aplicação de imagens ASTER e  
TOPODATA em Estudos de  
Viabilidade Ferroviária

XIII Curso de Especialização em  
Geoprocessamento  
2011



UFMG  
Instituto de Geociências  
Departamento de Cartografia  
Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha  
Belo Horizonte  
cartog@igc.ufmg.br

Alonso Ulisses de Souza Lopes

Aplicação de imagens ASTER e TOPODATA em Estudos de Viabilidade Ferroviária

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Especialista em Geoprocessamento. Curso de Especialização em Geoprocessamento. Departamento de Cartografia. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais.

Orientador: Prof. Plínio Temba

**BELO HORIZONTE**

**2011**

LOPES, Alonso Ulisses de Souza

Aplicação de imagens ASTER e TOPODATA em estudos de viabilidade ferroviária/ Alonso Ulisses de Souza Lopes

- Belo Horizonte, 2010.

vi, 35 f.: il.

Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. Departamento Cartografia, 2010.

Orientador: Prof. Plínio Temba

1. Projeto Ferroviário 2. Geoprocessamento 3. TODODATA  
4. ASTER  
I. MDE

Aluno (a) Alonso Ulisses de Souza Lopes

Monografia defendida e aprovada em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do título de Especialista em Geoprocessamento, em 07 de dezembro de 2011, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:

---

Prof. Plínio Temba

---

Prof. Sergio Donizete Faria

## RESUMO

Este trabalho destaca a importância da utilização das técnicas do geoprocessamento nas práticas de elaboração de projetos de estudo de viabilidade ferroviária, mostrando a necessidade das ferramentas do SIG - Sistema de Informação Geográfica, que tragam precisão a nível de projeto de viabilidade e agilidade nas tomadas de decisões durante o processo de execução dos estudos.

## SUMÁRIO

	Pág.
1 INTRODUÇÃO .....	10
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	12
3 METODOLOGIA .....	22
4 RESULTADOS .....	28
5 CONCLUSÃO .....	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	33

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1 – Principais ferrovias existentes, em construção e projetadas no Brasil. ....	13
FIGURA 2 – Plataformas de aquisição em sensoriamento remoto .....	16
FIGURA 3 – Diferença entre MDE e MDT .....	18
FIGURA 4 – Etapas de levantamento aerofotogramétrico.....	18
FIGURA 5 – O satélite Terra carrega o sensor ASTER.....	20
FIGURA 6 – Ônibus espacial Endeavour utilizado no SRTM.....	21
FIGURA 7 – Localização da área de estudo .....	22
FIGURA 8 – Fluxograma das etapas da metodologia.....	23
FIGURA 9 – Seção em corte.....	25
FIGURA 10 – Seção em aterro.....	25
FIGURA 11 – Seção mista em corte e aterro. ....	25
FIGURA 12 – Localização do traçado 1 .....	26
FIGURA 13 – Localização do traçado 2 .....	26
FIGURA 14 – Localização do traçado 3 .....	27
FIGURA 15 - Desenvolvimento do volume de corte no traçado 1 .....	28
FIGURA 16 – Desenvolvimento do volume de aterro no Traçado 1 .....	29
FIGURA 17 – Desenvolvimento do Volume de Corte no Traçado 2 .....	30
FIGURA 18 – Desenvolvimento do Volume de Aterro no Traçado 2.....	30
FIGURA 19 – Desenvolvimento do Volume de Corte no Traçado 3 .....	31
FIGURA 20 – Desenvolvimento do Volume de Aterro no Traçado 3.....	31

## LISTA DE QUADROS

	Pág.
QUADRO 1 – Volume de corte e aterro e variação percentual – Traçado 1 .....	28
QUADRO 2 – Volume de corte e aterro e variação percentual – Traçado 2 .....	29
QUADRO 3 – Volume de Corte e Aterro e Variação Percentual – Traçado 3 .....	31
QUADRO 4 – Quadro de distribuição das fases de projeto. ....	32



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ASTER	- <i>Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer</i>
DEM	- <i>Digital Elevation Model</i>
DSM	- <i>Digital Surface Model</i>
DTM	- <i>Digital Terrain Model</i>
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IVP	- Infravermelho Próximo
MDE	- Modelo Digital de Elevação
MDS	- Modelo Digital de Superfície
MDT	- Modelo Digital de Terreno
METI	- <i>Ministry of Economy and Industry</i>
MNE	- Modelo Numérico de Elevação
MNT	- Modelo Numérico do Terreno
NASA	- <i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NIMA	- <i>National Imaging and Mapping Agency</i>
SAR	- <i>Synthetic Aperture Radar</i>
SRTM	- <i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
TIN	- <i>Triangular Irregular Network</i>
UTM	- Universal Transversa de Mercator
WGS84	- <i>World Geodetic System 1984</i>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Apresentação

Com o aumento da demanda no setor ferroviário e evidente crescimento da malha ferroviária, novas oportunidades desse setor surgem a cada dia, com a necessidade da elaboração de novos projetos de expansão e implantação. A importância do modal ferroviário na matriz de transportes e desenvolvimento da logística, principalmente referindo-se a cargas no Brasil, é muito relevante.

Neste sentido, as empresas de engenharia, necessitam de respostas rápidas para suprir essa demanda, buscando atender os critérios técnicos e econômicos.

Para realização do estudo de viabilidade ferroviária, o profissional deve realizar visitas ao campo. Todos os dados coletados em campos devem ser analisados juntamente com imagens de satélite da região com o auxílio do Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Para a elaboração desse projeto, é necessário uma análise e entendimento e domínio do espaço no qual o projeto será inserido, como as áreas de interferências urbanas, ambientais, topográficas, geológicas e hidrológicas. Com as ferramentas disponíveis no geoprocessamento e as ferramentas da engenharia, esta análise pode ser realizada em curto prazo, possibilitando uma resposta rápida e seqüência dos trabalhos, sendo o geoprocessamento uma ferramenta indispensável no processo inicial do projeto.

No gerenciamento das informações por meios computacionais é hoje uma grande tendência mundial, principalmente a partir da invenção dos microcomputadores, quando essa tecnologia tornou-se disponível para um grande número de pessoas e de pequenas empresas, utilizando sistemas locais e grandes redes de computadores. Com o desenvolvimento e a popularização de softwares para computação gráfica, a informática vem também ampliando o universo de usuários e produtores de informações cartográficas em meio digital, destinadas principalmente para compor as bases de dados gráficos dos Sistemas de Informações Geográficas - SIG's.

Uma das informações importantes para um projeto ferroviário é o volume de corte e aterro necessários para a implantação de um eixo ferroviário. Esta informação é obtida com o conhecimento do relevo. Atualmente, com o desenvolvimento dos sensores orbitais, os modelos digitais de elevação (MDE) passaram estar disponíveis com maior facilidade e relativa confiabilidade. As imagens ASTER e SRTM são exemplos de MDE's obtido por

sensores remotos disponíveis ao público por meio da internet. No entanto sua utilização deve ser avaliada para verificação de sua adequabilidade ao estudo.

## **1.2 Objetivos**

Dentro desse enfoque, a pesquisa a ser desenvolvida tem como objetivo:

- Estudar e analisar a viabilidade da grade de elevação SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) TOPODATA, grade de elevação ASTER e o levantamento obtido com a tecnologia aerofotogrametria, para cálculo de volume de terraplenagem avaliando a discrepância entre os resultados, cotejando com os limites de precisão tolerados nas diferentes fases dos projetos ferroviários.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Modal Ferroviário**

Segundo Pieper (2007), o governo Vargas, no início da década de 1940, iniciou um processo de saneamento e reorganização das estradas de ferro e promoção de investimentos, com inspeção nas ferrovias que se encontravam em má situação de conservação e nas empresas nacionais, inclusive nas estatais, e também nas empresas estrangeiras, que poderiam estar passando por dificuldades financeiras.

Esta inspetoria deu origem ao Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER e Departamento Nacional de Estradas de Ferro - DNEF. Com sua extinção, as funções do DNEF foram transferidas para a Secretaria Geral do Ministério dos Transportes e parte para a Rede Ferroviária Federal S.A. - RFFSA em dezembro de 1974.

A RFFSA foi criada com a finalidade de administrar, explorar, conservar, reequipar, ampliar e melhorar o tráfego das estradas de ferro da União, pois ficou ela como responsável pelas 18 estradas de ferro pertencentes à União, que totalizavam 37.000 km de linhas espalhadas pelo país.

Porém devido às dificuldades encontradas mais tarde pela RFFSA, o governo Federal decidiu pelo afastamento da RFFSA dos transportes urbanos, passando assim suas tarefas para a Companhia Brasileira de Transporte Urbano - CBTU, que ficou com a responsabilidade pela prestação daqueles serviços.

Com o início da crise no setor férreo, surgiu a opção de privatizar a operação de transporte, trabalhando assim em cima de concessões que trariam maior competitividade para os usuários e empresas relacionadas com mercado ferroviário.

Em 1992, com a inclusão da RFFSA no Programa Nacional de Desestatização, o processo de privatização da operação ferroviária teve início.

Para que um único acionista não detivesse, direta ou indiretamente, mais de 20% da totalidade das ações do capital votante, o processo de concessão previa uma participação máxima de controle acionário em cada ferrovia. Arrendaram-se os bens operacionais, e estabeleceram-se tetos para as tarifas.

No decorrer do processo, o governo federal arrecadou R\$ 790 milhões à vista, mais parcelas trimestrais ao longo dos trinta anos das concessões. Entre 1996 e 2001, foram investidos mais de R\$ 2 bilhões em material rodante e recuperação da malha.

As privatizações ocorreram entre 1996 a 1998, concentradas em 1997, no início de 2002 a ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres) foi implantada.

Atualmente, conforme ilustrado na figura 1, o Brasil possui a maior malha ferroviário da América Latina em termos de carga transportada.

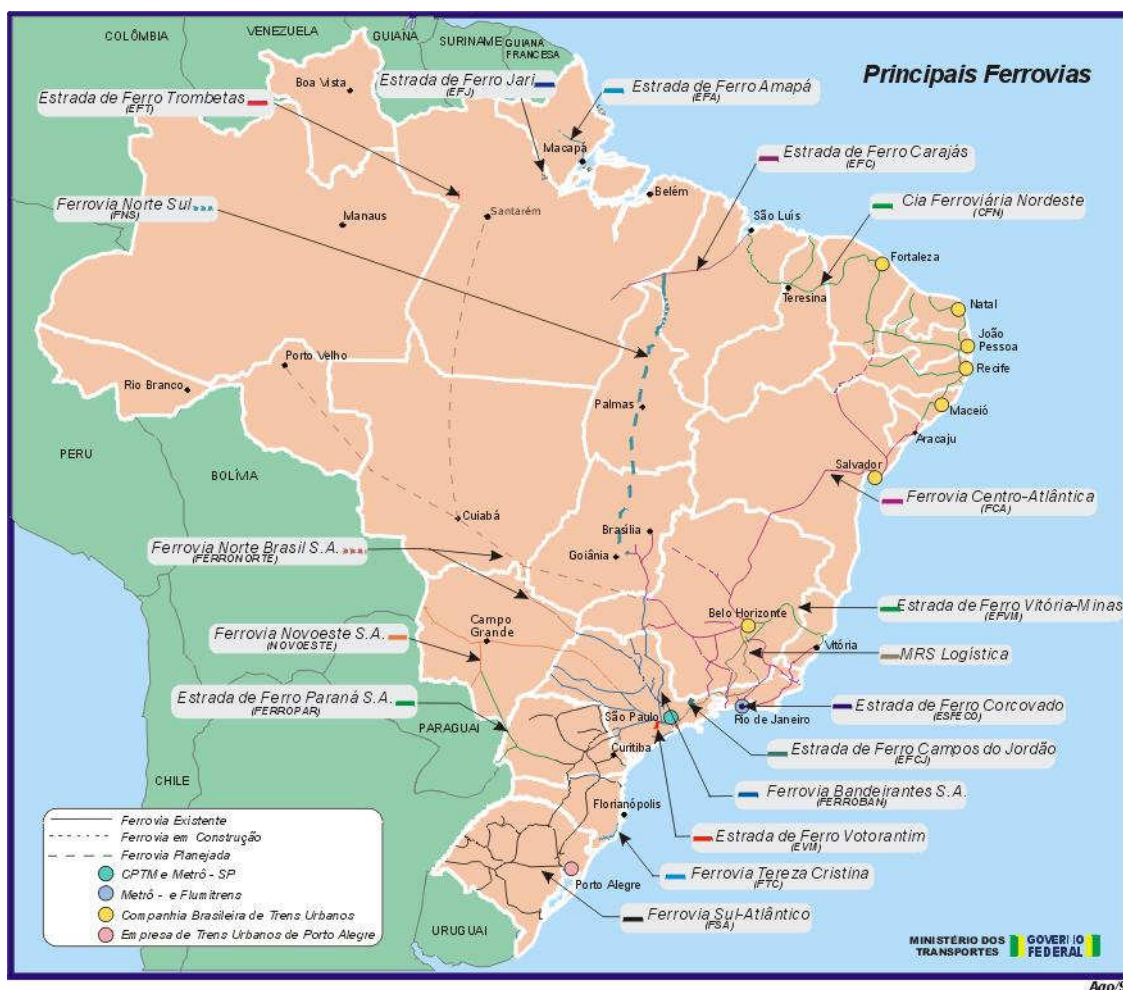


FIGURA 1 – Principais ferrovias existentes, em construção e projetadas no Brasil.

Fonte: [www.antt.gov.br/carga/ferroviario](http://www.antt.gov.br/carga/ferroviario)

Tratando-se de comércio exterior, que em geral trata de maiores distâncias a serem percorridas, a escolha do modo de transporte a ser utilizada não deve ser baseada exclusivamente na simples comparação entre tarifas de frete. Outros fatores podem ser de grande importância, como valor da mercadoria e custo de estoque, quantidade de carga,

urgência de entrega, riscos nas operações inerentes ao deslocamento e custos das tarefas complementares.

Obviamente, que comparações devem ser feitas em um âmbito da logística completa de escoamento da mercadoria, sendo desde o local de produção ou armazenamento até o local de entrega final ou consumo.

No transporte aquaviário se tem como presentes vantagens valores de frete e a possibilidade de atender grandes volumes, desta forma são imbatíveis no transporte de mercadorias com baixo valor agregado, a exemplo dos granéis. Por outro lado, com tarifas superiores às marítimas, temos o transporte aéreo, que podem contrabalançar ou até mesmo reverter tendências iniciais completamente contrárias:

- velocidade desenvolvida em todas as etapas, sendo elas: recepção, embarque, transporte, armazenagem, entrega etc.;
- geração de sensíveis vantagens aos usuários com a consolidação de cargas;
- por conta de viagens mais breves e menores riscos de sinistros, as despesas com seguros se tornam inferiores;
- escoamento mais rápido aperfeiçoa a distribuição, aumentando assim a rotatividade de estoque.

No que diz respeito ao transporte rodoviário, ele é conhecido por sua simplicidade de funcionamento, tendo como uma de suas principais características a operação “porta a porta”, passando assim por apenas uma operação de carga no ponto de origem e uma descarga no local de destino, no entanto, diminui o perigo de sinistro. Com tudo, este tipo de transporte é recomendado para viagens de curta distância, por possuir frete mais elevado que o ferroviário e aquaviário.

Já o transporte ferroviário envolve custo menor de transporte, propiciando fretes de menor valor quando relacionado com o modal ferroviário, não corre o risco de congestionamento, tem espaço para transportar grandes quantidades, grandes pesos e grandes volumes.

## **2.2 Sensoriamento remoto**

A definição clássica do termo *sensoriamento remoto* refere-se a um conjunto de técnicas destinado à obtenção de informação sobre objetos, coma utilização de sensores, sem que haja contato físico com eles (INPE, 2001). Outros autores, como Lillesand e Kiefer (1994)

conforme Barros (2006) entendem que este termo não denota apenas uma técnica, mas uma ciência. Estes dois autores definem sensoriamento remoto como “a ciência e arte de obter informações sobre um objeto, área ou fenômeno com a análise do dado adquirido por um sensor que não está em contato com os mesmos”.

Segundo Valente (2001), os sensores são equipamentos capazes de coletar energia proveniente do objeto, convertê-la em sinal passível de ser registrado e apresentá-lo em forma adequada à extração de informações. Este processo pode envolver a medição de propriedades físicas de objetos. No caso específico do sensoriamento remoto, a energia utilizada é a radiação eletromagnética. A intensidade do sinal registrado sofre interferências causadas pelas propriedades físicas dos alvos, configuração do sensor empregado e do nível de aquisição dos dados, que está relacionado com a distância entre o sensor e o alvo. O alvo é separado do sensor pela atmosfera, por isso ela também pode afetar a intensidade do sinal, dependendo de suas condições (presença de maior ou menor quantidade de vapor d'água, partículas em suspensão etc.). Ou seja, quanto maior a distância entre o alvo e o sensor, maior a probabilidade de ocorrência de elementos que ofereçam interferência na atmosfera (Barros, 2006).

A radiação que atinge o sensor é fruto da reflexão de alvos com relação à emissão proveniente de uma fonte de energia, que pode ser interna (sensores ativos) ou externa (sensores passivos), neste último caso, normalmente o sol. Esta radiação também recebe a componente referente à emissão de energia do próprio alvo. Na verdade, a maior parte da energia que chega ao sensor, atingiu o objeto, interagiu com ele, foi refletida de volta, alcançando o sensor, esteja ele posicionado a bordo de uma plataforma suspensa, avião ou satélite, conforme figura 2.

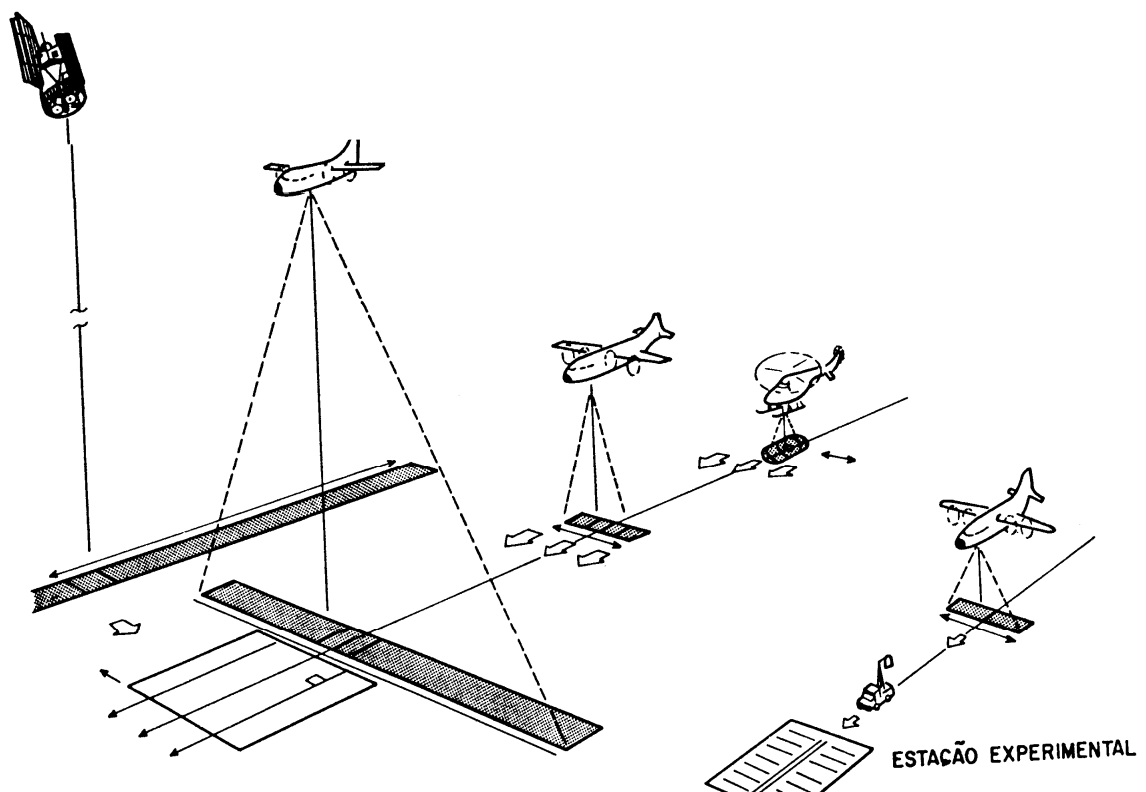


FIGURA 2 – Plataformas de aquisição em sensoriamento remoto

As imagens digitais de sensoriamento remoto<sup>1</sup>, que podem ser obtidas por satélites ou aeronaves, representam uma das principais formas de captura indireta de informação espacial. As informações são armazenadas como matrizes, sendo que cada elemento da imagem, denominado pixel, tem um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente (VALENTE, 2011). As características das imagens são avaliadas; (1) pela resolução espacial (menor área da superfície terrestre observada instantaneamente por cada detector), (2) resolução espectral da imagem (número e largura de faixas do espectro eletromagnético imageadas), assim como a (3) resolução radiométrica do sensor (nível de quantização registrado pelo sistema sensor) e (4) resolução temporal (período de revisita de um sensor a uma área específica da superfície terrestre).

O sensoriamento remoto é muito apoiado pelos avanços de outras ciências como a física, matemática, química, biologia e as geociências, além de ser impulsionado pelas atividades relacionadas à guerra, em vista, principalmente, da necessidade de reconhecimento do território (Barros, 2006).

<sup>1</sup> Comumente são denominadas por imagens de satélite ou imagens orbitais



### 2.3 Modelo digital de elevação

Existe uma variedade de terminologias para designar modelos digitais que representam parte da superfície terrestre, sua topografia ou seu uso e cobertura. É comum o uso dos termos MDE (Modelo Digital de Elevação), MDT (Modelo Digital de Terreno), MDS (Modelo Digital de Superfície), MNT (Modelo Numérico do Terreno), MNE (Modelo Numérico de Elevação) ou suas variantes em inglês (DEM - "*Digital Elevation Model*", DTM - "*Digital Terrain Model*", DSM - "*Digital Surface Model*") como sinônimos, o que configura um erro conceitual (BARROS, 2006).

Todas as expressões acima fazem referência à aquisição, processamento e utilização de dados digitais para a elaboração de modelos que representem, graficamente, o relevo e as demais características do terreno. Doyle (1978, citado por Aspiazú et al, 1990), definiu como arranjos ordenados de números, que reproduzem a distribuição espacial das características do terreno. Ou seja, o modelo pode representar tanto a variável altitude como qualquer outra que apresente-se distribuída no espaço.

Analisando a diferenciação entre MDE e MDT, temos que, de forma simplificada assume-se que os MDEs representam a superfície do terreno acrescida de quaisquer objetos existentes sobre ela e que influenciem no valor da reflectância do pixel. Ou seja, se existirem árvores e construções, a superfície representada refere-se ao topo delas. Em contrapartida, os MDTs representam a superfície real do terreno (BARROS, 2006). A figura 3 pode auxiliar na diferenciação dos dois tipos de modelos.

Em geral, os softwares representam os modelos digitais sob a forma de grades, que podem ser regulares (*Grid*) ou irregulares (*TIN- Triangular Irregular Network*). Normalmente estas grades são obtidas a partir de alguma forma de interpolação a partir de amostras pontuais e/ou lineares. Cada tipo de grade apresenta vantagens e desvantagens, devendo a escolha se dar em função da aplicação. É bastante comum, que para fins de processamento a grade regular seja utilizada, o que pode levar a se usar geração de um *TIN* e, em seguida, sua conversão para *Grid* (BARROS, 2006).

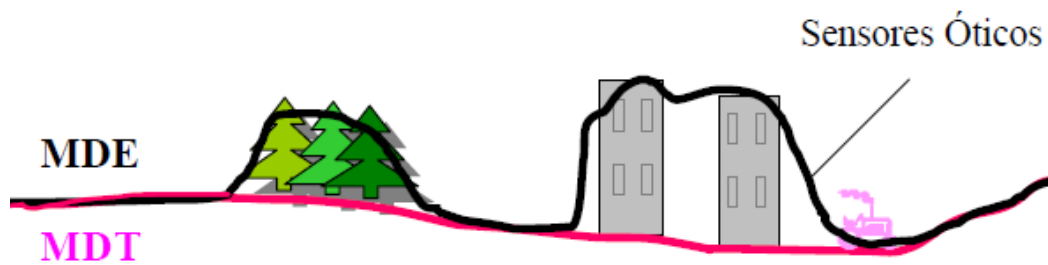


FIGURA 3 – Diferença entre MDE e MDT

Conforme Barros (2006), os dados de altimetria usados na geração de MDEs podem ter origens diversas. Classicamente eles são obtidos a partir dos levantamentos topográficos ou aerofotogramétricos. Mais recentemente os produtos oriundos do sensoriamento remoto orbital começaram a se colocar como fonte de tais dados. Dentre estes produtos destacam-se as imagens geradas pelo sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) e as resultantes do projeto SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) e seus derivados, como o projeto TOPODATA (INPE – Instituto de Pesquisas Espaciais), que serão abordadas nos próximos itens.

A aquisição de dados de elevação por levantamentos aerofotogramétricos acontece devido à geração de estereomodelos fotogramétricos, dos quais são extraídos, as curvas de nível e pontos cotados. Baxter (1976, citado por Aspiazú et al, 1990), afirma que o MDE torna-se consideravelmente mais vantajoso quando se têm por base modelos fotogramétricos. Atualmente, com o desenvolvimento da Tecnologia da Informação, o processo descrito acima ocorre de maneira automatizada, auxiliada por computadores, como ilustra a figura 4.



FIGURA 4 – Etapas de levantamento aerofotogramétrico

Os modelos digitais apresentam diversas possibilidades de aplicações: armazenamento de dados de altimetria; análises de corte aterra para projeto de estradas, barragens e ferrovias; elaboração de mapas de declividade e aspecto; análise de variáveis geofísicas e geoquímicas; representação tridimensional, dentre outras (BARROS, 2006).

#### **2.4 ASTER - *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer***

O sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), é fruto de uma cooperação entre o Japão (*Ministry of Economy and Industry - METI*) e os Estados Unidos da América (*North American Spacial Agency - NASA*), no qual os japoneses foram responsáveis pela construção do sensor e os norte-americanos pelo satélite. O satélite Terra, que transporta o sensor ASTER, foi lançado em 18 de dezembro de 1999, em órbita sol-síncrona, altitude de 705 km, período orbital de 98,9 minutos e cobertura total da Terra em 16 dias. Uma cena imageada pelo sensor ASTER tem dimensões de 60 x 60km (Lima et al, 2005).

A geração de dados altimétricos pelo ASTER baseia-se na sua capacidade de imageamento em pares estereoscópicos para quase todo o globo terrestre (entre as latitudes 83° S e 83° N). A estereoscopia orbital baseia-se na comparação entre pares estereoscópicos de uma mesma área. Consiste na extração de informações de duas imagens de um mesmo local, adquiridas em ângulos diferentes de imageamento (LANDAU e GUIMARÃES; 2011).

Para tal, o sistema de aquisições de imagens no espectro visível (VIS) e infravermelho próximo (IVP) do ASTER conta com dois telescópios. Um deles, o instrumento VIS-IVP, gera imagens em nadir (vertical) ou com um ângulo lateral de até 8,55 graus. Cerca de 55 segundos após esse primeiro imageamento, a mesma área é imageada com outro instrumento que também opera na faixa do IVP, capaz de gerar uma imagem em retro-visada de aproximadamente 27 graus, em direção oposta à órbita do satélite. Essa operação possibilita a constituição de um par estereoscópico de bandas posicionadas no IVP, denominadas bandas 3N (*Nadir*) e 3B (*Backward looking*) conforme figura 5.

Dado o curtíssimo intervalo de tempo entre a aquisição das imagens que compõem o par estereoscópico, praticamente não são verificadas diferenças radiométricas, nas condições de iluminação da cena e de cobertura de nuvens, o que não é verificado em sistemas que adquirem pares estereoscópicos a partir de órbitas adjacentes. Para a América do Sul, os dados obtidos são disponibilizados na resolução espacial de 1 arco de segundo

(aproximadamente 30 m), no sistema de coordenadas Lat/Long e *Datum* WGS84 (LANDAU e GUIMARÃES; 2011).

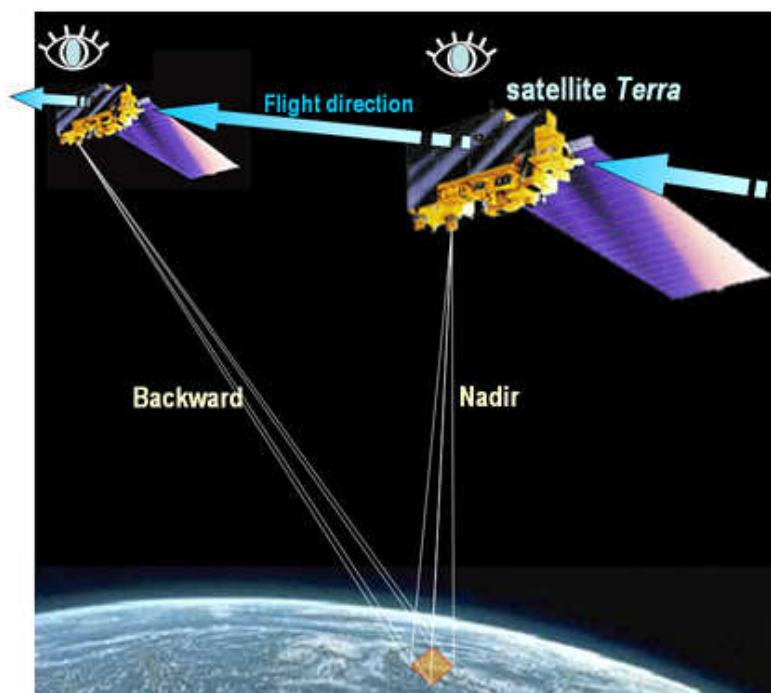


FIGURA 5 – O satélite Terra carrega o sensor ASTER

## 2.5 SRTM - Shuttle Radar Topographic Mission e Projeto TOPODATA

O SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) não é o nome de um satélite, mas de uma missão espacial liderada pela NASA e NIMA (National Imagery e Mapping Agency) com parcerias com agências espaciais da Alemanha (DLR) e Itália (ASI), realizada entre 11 a 22 de fevereiro de 2000 visando gerar um modelo digital de elevação de 80% do Globo terrestre (entre as latitudes 54°S e 60°N) (LANDAU e GUIMARÃES, 2011; BIAS et al, 2010).

A missão utilizou radar (SAR – Radar de Abertura Sintética), a bordo do ônibus espacial Endeavour, conforme figura 6, para adquirir os dados nas bandas C e X, fazendo uso da técnica de interferometria para obtenção da elevação. Nesta técnica a altitude é obtida com a medição da diferença de fase entre duas imagens radar sobre o mesmo local na Terra. (Barros, Cruz; 2007). Basicamente são utilizadas as informações de amplitude e fase do sinal de radar das duas imagens para geração do MDE, uma antena emite o sinal que, ao retornar do alvo, é recebido por duas antenas de recepção, separadas por uma distância conhecida (*baseline*). Segundo Barros (2006), Diversos fatores podem influenciar na acurácia da interferometria, tais como alterações na atmosfera, medições da *baseline*; correção dos movimentos da

plataforma; registro das imagens. Mas de forma geral, a interferometria apresenta melhores resultados do que a estereoscopia.

O sistema SRTM contava com duas antenas de recepção, separadas por um mastro de 60 metros, o que possibilitou a aquisição dos dados com resolução de 1 segundo de arco, ou aproximadamente 30 metros. Os dados referentes à América do Sul foram disponibilizados na resolução espacial de 3 arcos de segundo (aproximadamente 90 m), no sistema de coordenadas Lat/Long e *Datum* WGS84 (LANDAU e GUIMARÃES, 2011).

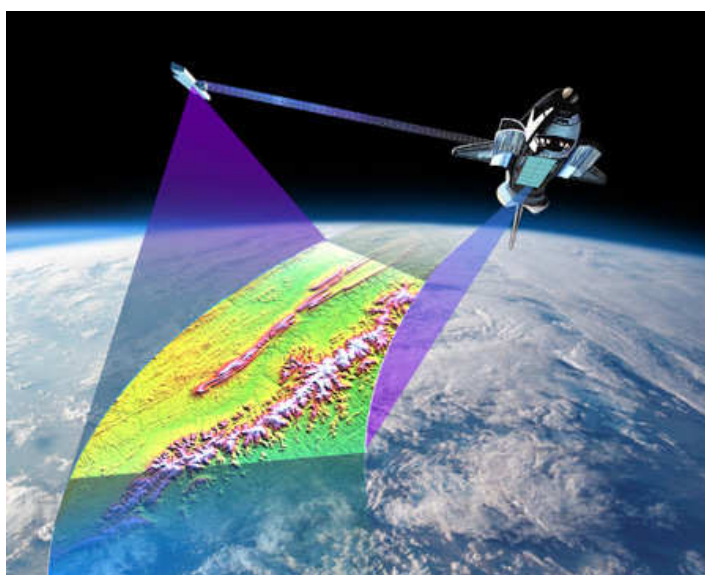


FIGURA 6 – Ônibus espacial Endeavour utilizado no SRTM

Além dos modelos diretamente resultantes do processamento das informações obtidas pelos diferentes sensores remotos, há também MDEs derivados destes. É o caso do modelo resultante do Projeto TOPODATA (INPE – Instituto de Pesquisas Espaciais), gerado pelo processamento digitais do MDE do SRTM. Os dados disponíveis do TOPODATA sofreram correções, incluindo informações em pontos/áreas anteriormente com ausência de dados. Estes passaram por um processamento computacional para refinamento no tamanho da célula (*pixel*) para aproximadamente 30 m. O refinamento foi realizado a partir de interpolação de todo o universo de dados pelo método de *krigagem*, processo embasado na análise geoestatística da variabilidade dos dados, onde se definem coeficientes que respondem melhor distribuição aleatória de observações. Além dos dados de entrada, o processo demanda informações geoestatísticas (coeficientes) que controlam a distribuição dos pesos para o cálculo dos valores interpolados.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Caracterização da área de estudo

A área objeto de estudo para o presente trabalho é uma área que abrange os municípios de Baixo Guandu e Colatina, no estado do Espírito Santo e os municípios de Aimorés e Itueta, no estado de Minas Gerais; cujos limites geográficos são dados pelas coordenadas UTM – fuso 24S – WGS84: 293.987,5m a 323.997,5m e 7.835.007,5m a 7.855.017,5m. Está situada no curso do Rio Doce, como segue na figura 7.



FIGURA 7 – Localização da área de estudo

#### 3.2 Materiais e Métodos

##### 3.2.1. Descrição dos Dados

- Modelo Digital de Elevação TOPODATA (19-42\_ZN) em níveis de cinza com resolução espacial de 30 metros, disponível pelo site do INPE.
- Modelo Digital de Elevação ASTER (ASTER Global Digital Elevation Model V002 - ASTGTM2\_S20W041) em níveis de cinza com resolução de 30 metros, disponível pelo site da NASA
- Modelo Digital de Elevação derivado de levantamento aerofotogramétrico em níveis de cinza com resolução de 5 metros da área de estudo disponibilizados pela Hiparc Geotecnologia.



- Fotos Aéreas de resolução de 5 metros da área de estudo disponibilizadas pela Hiparc Geotecnologia.

### 3.2.2. Fluxograma das etapas

Para o desenvolvimento dos estudos, foram adotados as seguintes etapas para orientação e organização dos estudos, conforme mostrado no fluxograma abaixo.

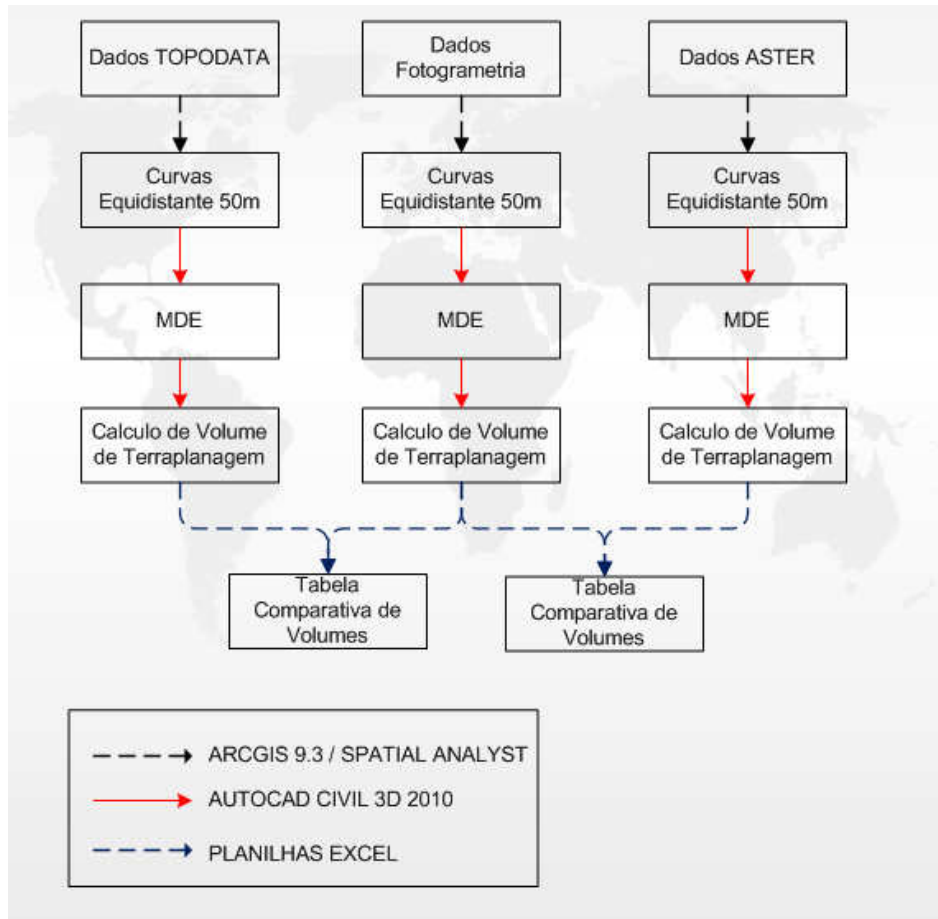


FIGURA 8 – Fluxograma das etapas da metodologia

- Gerar MDE dos dados TOPODATA para cálculo do volume de terraplenagem e identificar as diferenças encontradas em comparação com os dados oriundos do MDE gerado por levantamento fotogramétrico;
- Gerar MDE dos dados ASTER para cálculo do volume de terraplenagem e identificar as diferenças encontradas em comparação com os dados oriundos do MDE gerado por levantamento fotogramétrico.

Os softwares utilizados no desenvolvimento deste trabalho foram:

- ARCGIS 9.3 e extensão Spatial Analyst: Utilizado para gerar curvas de nível a cada 50 metros.
- Autodesk AutoCAD Civil 3D 2011: Utilizado para gerar superfície triangulada, alinhamento, perfil longitudinal e seção tipo de corte e aterro, para calcular volume de terraplenagem,
- Microsoft Office Excel 2007: planilha e cálculo de percentagem.

### 3.2.3. Estudos de caso

De posse dos dados de elevação oriundos dos produtos utilizados como insumo para construção de curvas de nível com equidistância mínima de 50 metros. Para a operação de criação das curvas de nível, foi empregado o software ARCGIS 9.3 utilizando a extensão Spatial Analyst empregando a ferramenta Contour.

As curvas geradas foram exportadas para o software Autodesk AutoCAD Civil 3D 2011. Neste software, foi gerada a triangulação da superfície das curvas importadas. Após esta etapa, foram gerados traçados ferroviários hipotéticos, que é constituído pelo alinhamento (Eixo Ferroviário), perfil longitudinal e seções transversais tipo. Estes projetos ferroviários tiveram como premissas:

- plataforma de terraplanagem com 8 metros de largura com caimento de 3% simétrico ao eixo;
- taludes de corte com inclinação 1:1, com altura máxima de 10 metros;
- talude de aterro com inclinação 3:2, com altura máxima de 10 metros;
- banquetas com 4 metros de largura com caimento de 3%;
- rampa longitudinal máxima de 2,5%;
- raio horizontal mínimo de 100 m.

Destes elementos definiu-se o corredor ferroviário com suas delimitações das seções tipo ferroviário conforme figuras 10, 11 e 12, e seus respectivos *offset's* de corte e aterro.



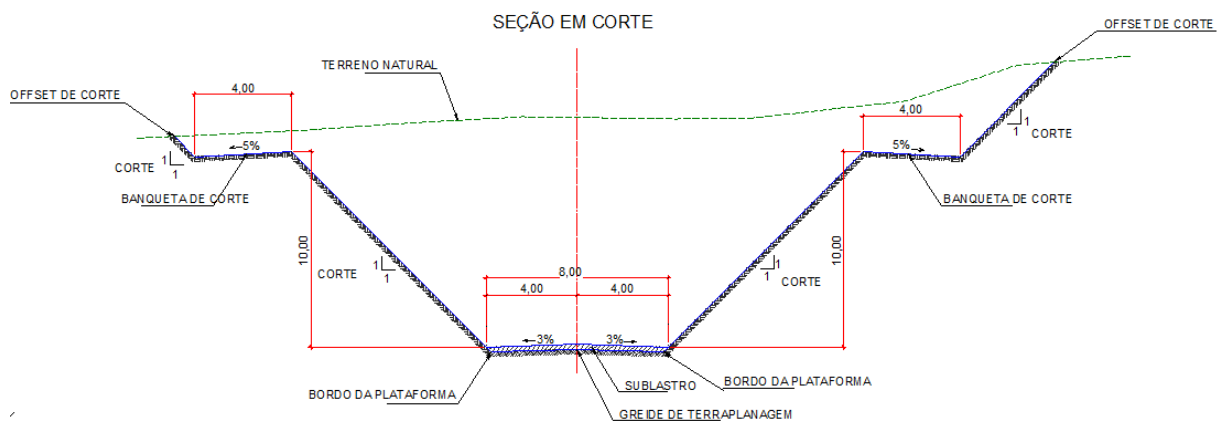


FIGURA 9 – Seção em corte

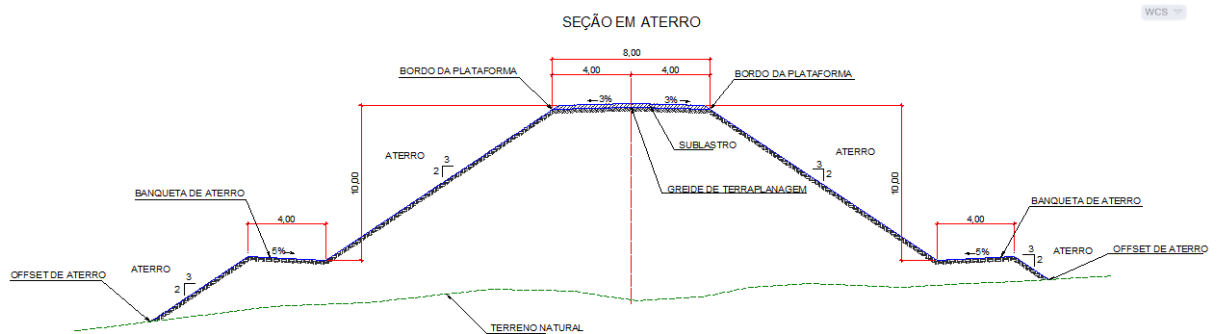


FIGURA 10 – Seção em aterro.

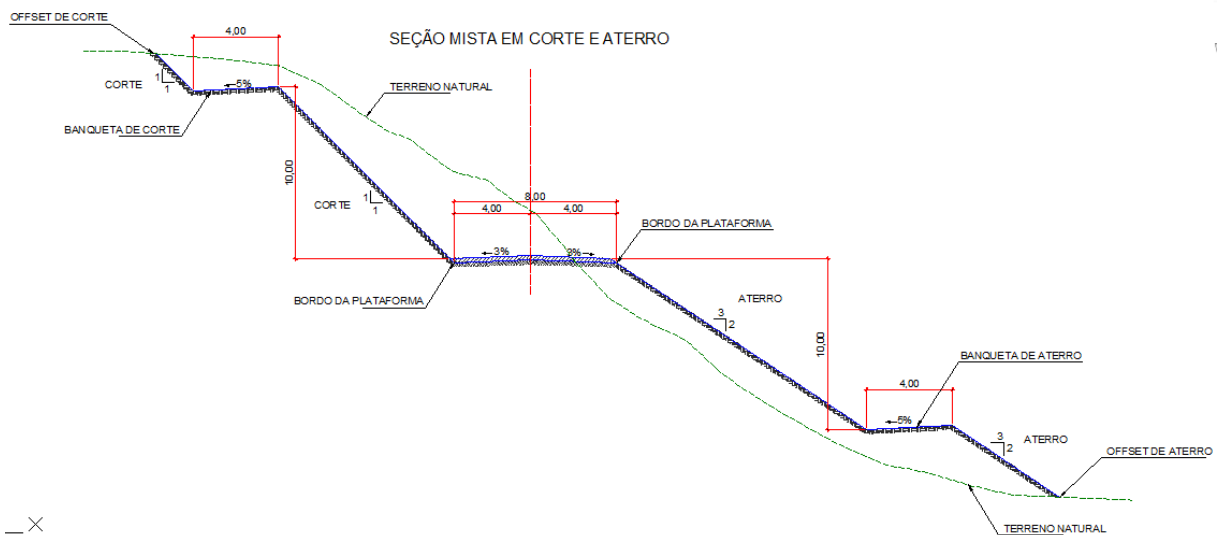


FIGURA 11 – Seção mista em corte e aterro.

Com a criação dos corredores ferroviários, o *software* Autodesk AutoCAD Civil 3D 2011 pode calcular o volume de terraplanagem dos mesmos. As figuras 13,14 e 15 apresentam os traçados ferroviários elaborados.

Os valores obtidos foram apresentados e comparados, com a variação percentual, com os valores limites de precisão admissíveis e suas fases de projetos em estudos de viabilidade de obras de engenharia, conforme Pinto (2008). Nesta etapa foi empregado o Microsoft Office Excel 2007.

LOCALIZAÇÃO DO TRAÇADO 1

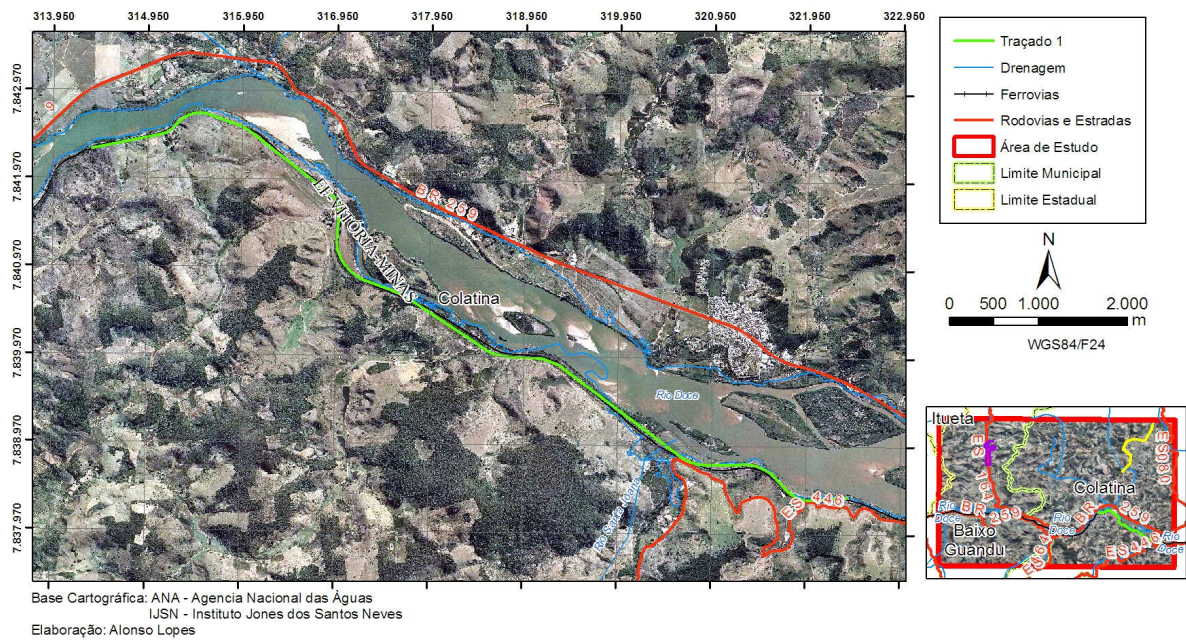


FIGURA 12 – Localização do traçado 1

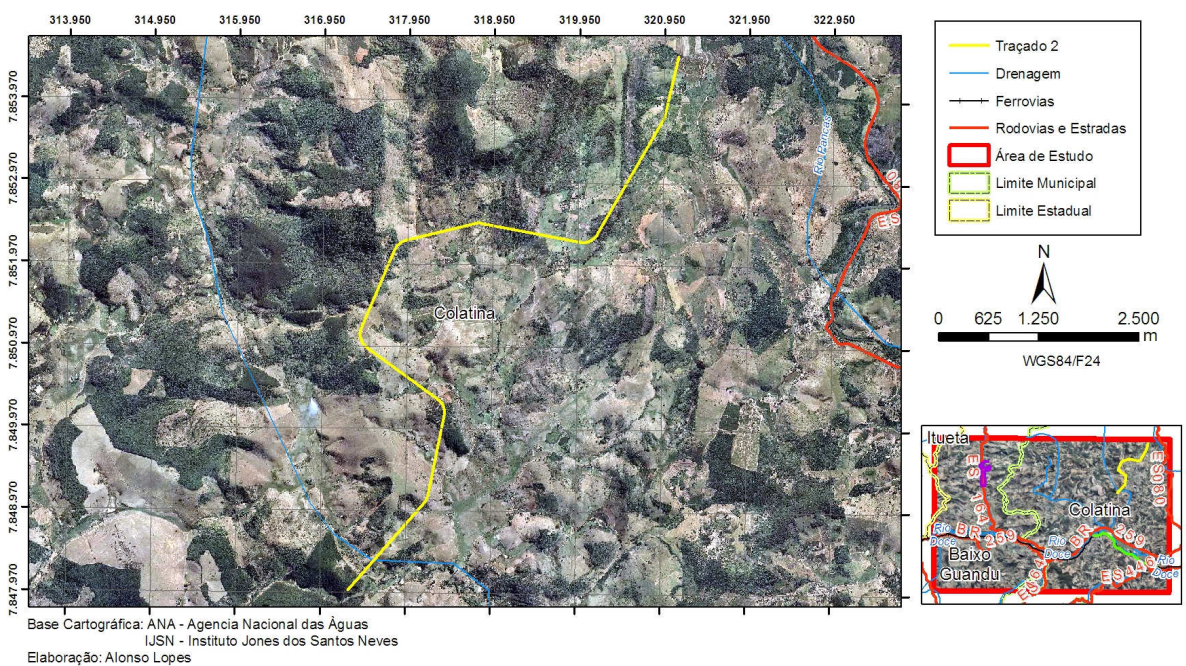


FIGURA 13 – Localização do traçado 2



### LOCALIZAÇÃO DO TRAÇADO 3

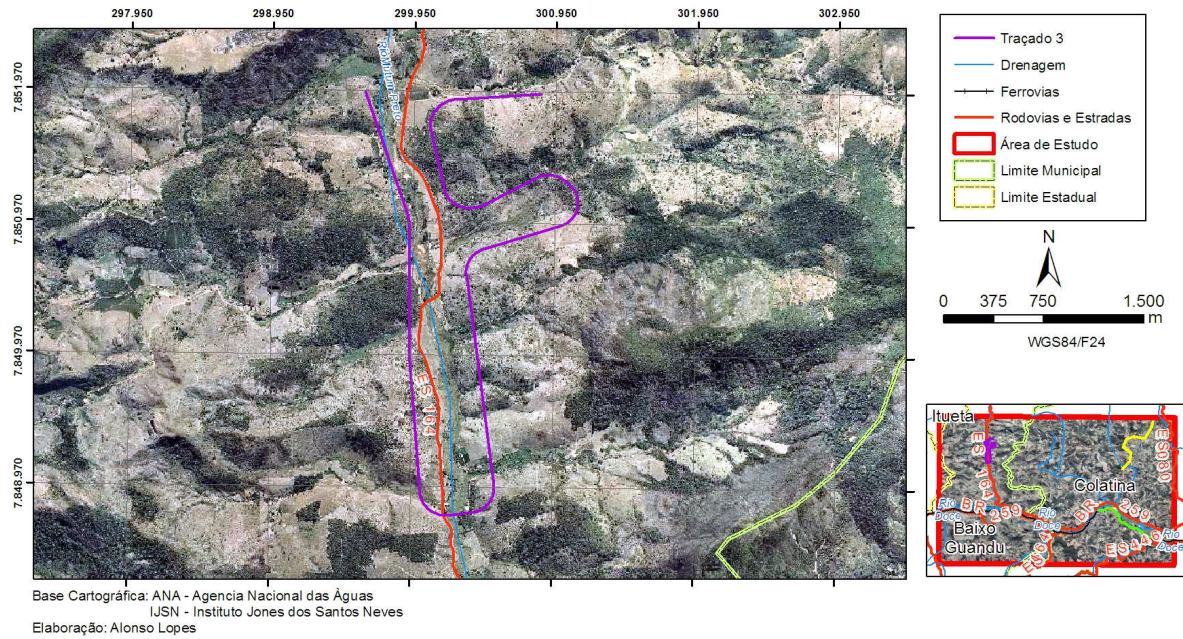


FIGURA 14 – Localização do traçado 3

## 4 RESULTADOS

Com os resultados obtidos do cálculo das três subáreas, podemos verificar as variâncias dos volumes de terraplenagem encontrados, conforme demonstrado em tabelas e gráficos que segue abaixo.

### 4.1 – Subárea 1 (Traçado 1)

Nesta primeira situação, em que foi estudado no traçado 1, foi elaborado nas proximidade do Rio Doce, considerando uma topografia plana. Obedecendo as premissas antes citado para o projeto ferroviário. Chegamos a uma variação de volume de corte em 93% e aterro com 117% para as imagens ASTER. Em observação as imagens do TOPODATA a variação foi menor.

Verifica-se também nos gráficos 1 e 2, os pontos onde ocorrem a variação entre volumes da Fotogrametria, TOPODATA e ASTER.

QUADRO 1 – Volume de corte e aterro e variação percentual – Traçado 1

		VOL DE CORTE (m³)	VOL DE ATERRO (m³)	CORTE (%)	ATERRO (%)
Traçado 1	FOTOGRAMETRIA	675.789,83	65.969,80	100	100
	TOPODATA	735.316,62	56.111,94	108	85
	ASTER	633.817,23	77.654,96	93	117

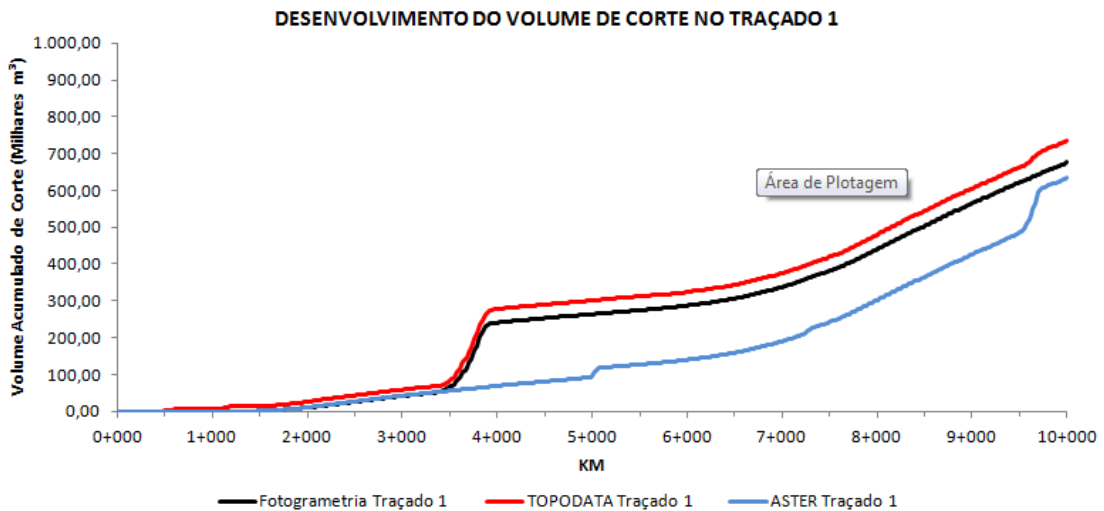


FIGURA 15 - Desenvolvimento do volume de corte no traçado 1

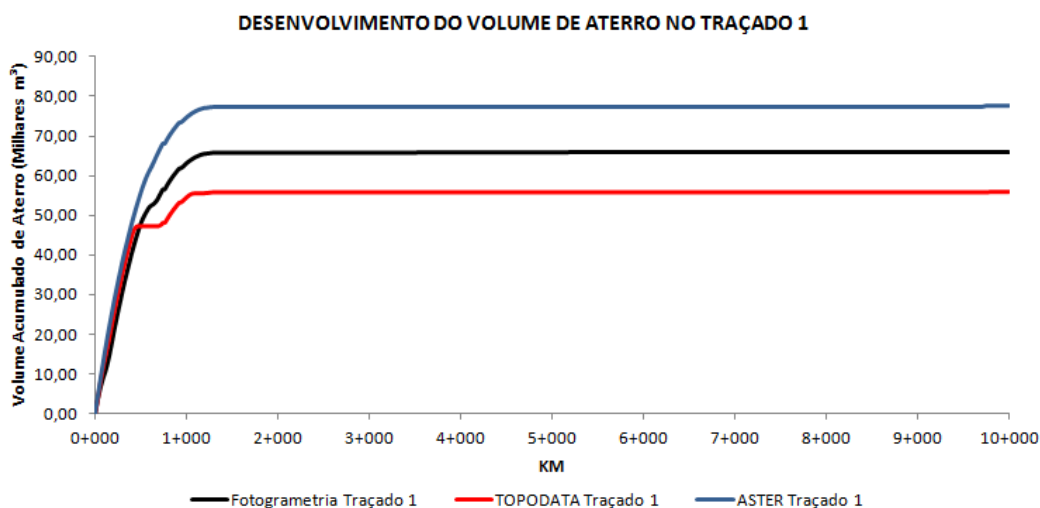


FIGURA 16 – Desenvolvimento do volume de aterro no Traçado 1

#### 4.2 Subárea 2 (Traçado 2)

Nesta segunda situação, em que foi estudado no traçado 2, foi elaborado em meia encosta. Obedecendo as premissas antes citado para o projeto ferroviário, chegamos a uma variação de volume de corte ate 130% e de aterro 35% para as imagens TOPODATA.

Verifica-se também nos gráficos 3 e 4 o ponto onde ocorre essa variação entre volumes da Fotogrametria, TOPODATA e ASTER. Tendo um comportamento mais homogêneo em relação a primeira situação estudada.

QUADRO 2 – Volume de corte e aterro e variação percentual – Traçado 2

		VOL DE CORTE (m <sup>3</sup> )	VOL DE ATERRO (m <sup>3</sup> )	CORTE (%)	ATERRO (%)
<b>Traçado 2</b>	<b>FOTOGAMETRIA</b>	3.279.550,72	687.224,17	100	100
	<b>TOPODATA</b>	4.266.913,44	241.384,47	130	35
	<b>ASTER</b>	2.387.693,92	1.157.800,98	72	168

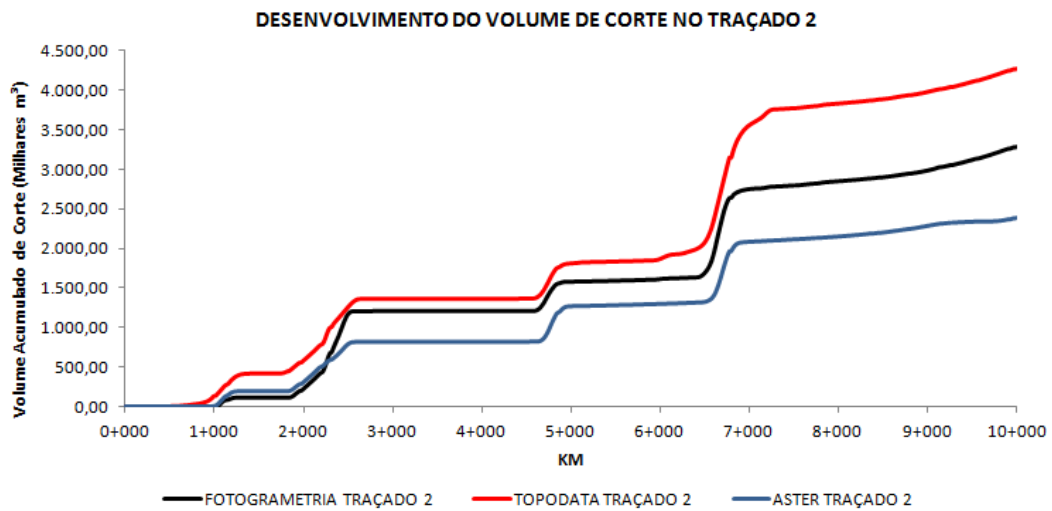


FIGURA 17 – Desenvolvimento do Volume de Corte no Traçado 2

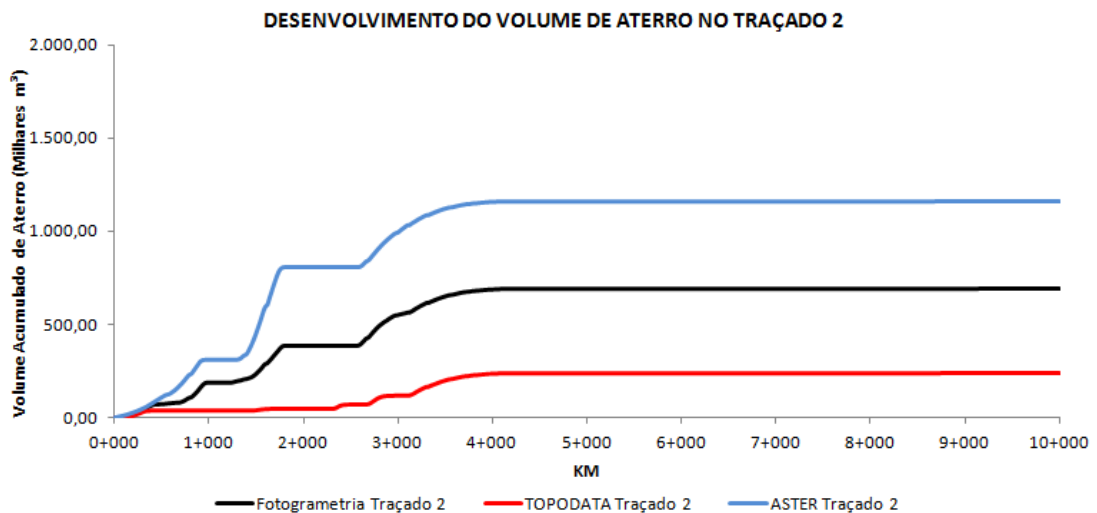


FIGURA 18 – Desenvolvimento do Volume de Aterro no Traçado 2

### 4.3 Subárea 3 (Traçado 3)

Na terceira situação, em que foi estudado no traçado 3, foi elaborado em meia encosta. Obedecendo as premissas antes citado para o projeto ferroviário, chegamos a uma variação de volume de corte ate 269% e aterro 215% inferior para as imagens ASTER. No qual houve a maior aproximação nos resultado.

Verifica-se também nos gráficos 5 e 6 o ponto de ocorrência na variação entre volumes da Fotogrametria, TOPODATA e ASTER. Tendo um comportamento mais homogêneo em relação à primeira e segunda situação estudada.

QUADRO 3 – Volume de Corte e Aterro e Variação Percentual – Traçado 3

		VOL DE CORTE (m <sup>3</sup> )	VOL DE ATERRO (m <sup>3</sup> )	CORTE (%)	ATERRO (%)
Traçado 3	FOTOGAMETRIA	1.231.965,45	1.304.556,64	100	100
	TOPODATA	1.642.437,65	1.124.312,02	133	86
	ASTER	3.320.931,95	2.809.981,93	269	215

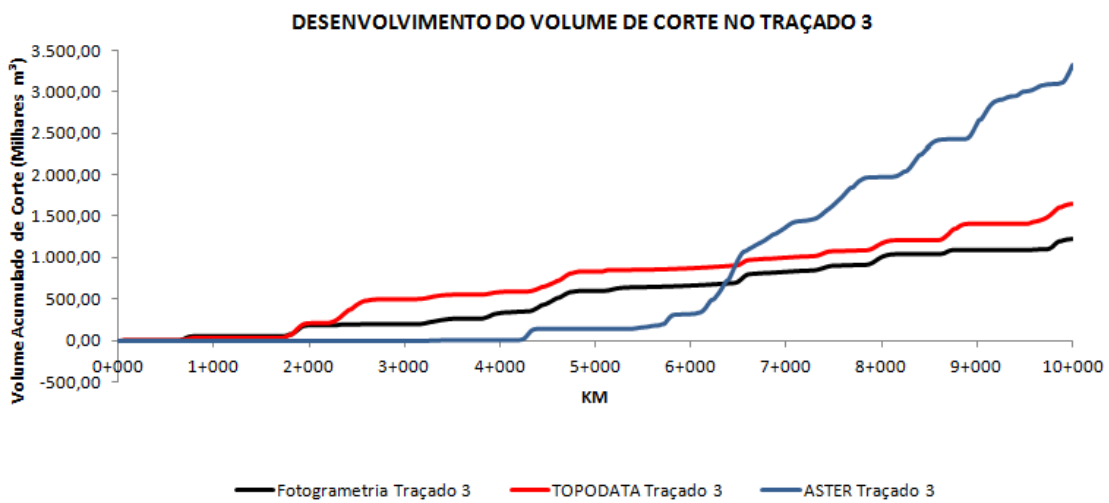


FIGURA 19 – Desenvolvimento do Volume de Corte no Traçado 3

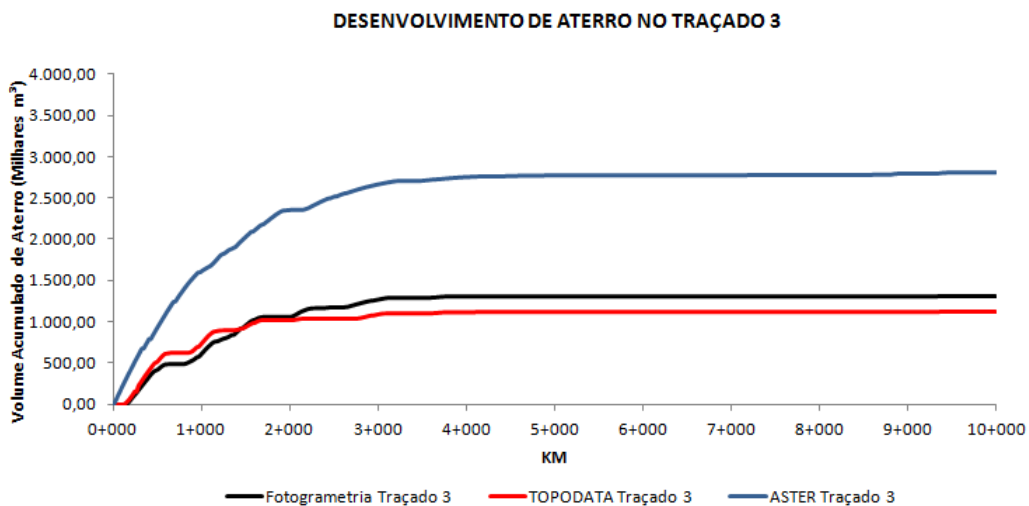


FIGURA 20 – Desenvolvimento do Volume de Aterro no Traçado 3

## 5 CONCLUSÃO

Com isso, nos estudos para implantação ferroviária, busca-se cada vez mais a sustentabilidade nos projetos de engenharia com estudos mais refinados no escritório como imagens, fotogrametria, estudos de declividades, áreas de preservação permanente, hidrografia, com o conhecimento preciso e gestão das informações teremos uma tomada de decisão na implantação antes do deslocamento do pessoal para o campo.

A terraplenagem é um dos pontos principais para a viabilidade do empreendimento sendo que a representatividade chega de 25% a 30% em uma obra de grande porte, grandes empresas adotam de quatro até sete níveis admissíveis de incerteza para o estudo da viabilização do empreendimento. Conforme citado no (Manual de Implantação Básica – DNER) na tabela 4 temos os correspondentes limites de precisão admissíveis e suas fases de projetos.

QUADRO 4 – Quadro de distribuição das fases de projeto.

<b>FASES DO PROJETO</b>	<b>LIMITE DE INCERTEZA</b>	<b>NÍVEL DE PRECISÃO</b>
CONCEITUAL	25% a 40%	25% a 40% de precisão
PRÉ VIABILIDADE	20% a 30%	15% a 30% de precisão
VIABILIDADE	15% a 25%	70% de certeza
VIABILIDADE ECONÔMICA	12,5% a 20%	75% de certeza
ENGENHARIA BÁSICA	10% a 15%	80% de certeza
ENGENHARIA DETALHADA	5% a 10%	90% de certeza

Atualmente as empresas adotam estimativas de volume de terraplenagem a partir de projetos semelhantes, visitas à campo e sobrevôos na área de implantação, porém estas técnicas podem revelar grandes discrepâncias no resultado final do empreendimento.

O geoprocessamento oferece técnicas onde podem ser manipuladas diversas fontes de dados de maneira a produzir resultados que podem ser utilizados nas diferentes fases de estimativa de custo do empreendimento.

Nestes estudos verificou-se, que os estudos altimétricos do traçado ferroviário deverão ser revisto em uma próxima etapa do projeto. pois neste estudo não foi levado em consideração a correção altimétrica para os modelos digitais de terreno estudados.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **HidroWEB**. Brasília, 2011. Disponível em: < <http://hidroweb.ana.gov.br/> > . Acesso em: 12 nov. 2011.

ASPIAZÚ, Celestino; ALVES, Laci Mota; VALENTE, Osvaldo Ferreira. MODELOS DIGITAIS DE TERRENOS CONCEITUAÇÃO E IMPORTÂNCIA. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 21, p.27-36, dez. 1990.

BARROS, Rafael S.; CRUZ, Carla B. M. Avaliação da altimetria do modelo de elevação do SRTM. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p.1243-1250.

BARROS, Rafael Silva de. **Avaliação da Altimetria de Modelos Digitais de Elevação Obtidos a Partir de Sensores Orbitais**. Tese (doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Geociências, 2006.

BIAS, Edilson de Souza et al. AVALIAÇÃO DA EXATIDÃO DO MDE OBTIDO POR MEIO DO SRTM E PELA DE CARTA DO IBGE NA ESCALA 1:100.000. **Revista Brasileira de Cartografia** Nº 63/01, 2010.

IJSN – Instituto Jones dos Santos Neves. **Geoprocessamento: Downloads de Arquivos Georreferenciados**. Vitória, 2011. Disponível em : < [http://www.ijsn.es.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=883&Itemid=416](http://www.ijsn.es.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=883&Itemid=416) > . Acesso em: 12 nov. 2011.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. São Jose dos Campos, 2001.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **TOPODATA – Banco de Dados Geomorfométricos**. São Jose dos Campos, 2001. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em 10 nov. 2011.

LANDAU, Elena C.; GUIMARAES, Daniel P. Análise Comparativa entre os modelos digitais de elevação ASTER, SRTM e TOPODATA. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.4003.

LIMA, Bruno E. M.; ALMEIDA FILHO, Raimundo; GALVÃO, Leonio S.; MENESES, Paulo R. Avaliação das imagens do sensor ASTER para discriminação espectral de variações

faciológicas no granito Serra Branca, Goiás. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 1815-1822.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. **REVERB| ECHO. The Next Generation Earth Science Discovery Tool**. 2011. Disponível em: <<http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/>>. Acesso em 12 nov. 2011.

PINTO, César R. R. Santos. **Verificação da adequabilidade do uso de dados SRTM e IBGE para implantação de uma faixa de dutos**. Monografia de Especialização em Geoprocessamento. Departamento de Cartografia. Instituto de Geociências, UFMG, 2008.

VALENTE, Roberta de Oliveira Avena. **Análise da Estrutura da Paisagem na Bacia do Rio Corumbataí, SP**. Dissertação (mestrado). Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2001.

PIEPER, S.L.. y Mauch Palmeira, E.: **"A importância das ferrovias para o desenvolvimento econômico brasileiro"** en Observatorio de la Economía Latinoamericana, Número 74, 2007. Texto completo en <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/br/>.