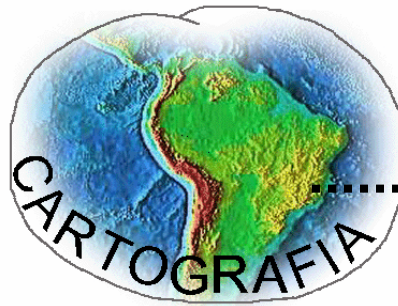


Guilherme Gandra Franco

O uso do Geoprocessamento para estudos  
conceituais de rotas de mineroduto de  
concentrado de ferro

XI Curso de Especialização em  
Geoprocessamento 2008



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

**GUILHERME GANDRA FRANCO**

**O USO DO GEOPROCESSAMENTO PARA ESTUDOS CONCEITUAIS DE ROTAS  
DE MINERODUTO DE CONCENTRADO DE FERRO**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Especialista em Geoprocessamento, do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais.

Orientador: Prof. Msc. Plínio Temba

**Belo Horizonte  
2008**

**Guilherme Gandra Franco**

**O USO DO GEOPROCESSAMENTO PARA ESTUDOS CONCEITUAIS DE ROTAS  
DE MINERODUTO DE CONCENTRADO DE FERRO**

Monografia apresentada à banca do curso de  
Especialização em geoprocessamento, como  
requisito parcial para a obtenção do título de  
Especialista em Geoprocessamento.

---

**Plínio Temba (orientador) - UFMG**

---

**Maria Márcia Magela Machado (UFMG)**

**Belo Horizonte, 03 de dezembro de 2008**

FRANCO, Guilherme Gandra

O uso do Geoprocessamento para estudos conceituais de rotas de mineroduto de concentrado de ferro. / Guilherme Gandra Franco. Belo Horizonte, 2008.

30f.

Orientador: Msc. Plínio Temba.

Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Departamento de Cartografia, Especialização em Geoprocessamento, 2008.

1. Geoprocessamento 2. Análise Multicritério 3. Minerodutos  
4. Engenharia Civil I. Título

## Lista de Figuras

Figura 01	Gráfico da Produção Mineral Brasileira	06
Figura 02	Composição matricial	10
Figura 03	Exemplo da matriz do SRTM	11
Figura 04	Extração da declividade do terreno	12
Figura 05	Álgebra de mapas – entrada	13
Figura 06	Álgebra de Mapas – Saída	14
Figura 07	Carta Imagem 543 RGB	18
Figura 08	Carta Imagem 753 RGB	20
Figura 09	Composição temática do LandSat 543	22
Figura 10	Composição temática do LandSat 753	23
Figura 11	Mapa de declividade	25
Figura 12	Mapa hipsométrico	26
Figura 13	Mapeamento Final: Áreas ótimas para construção do mineroduto	28

## Lista de Tabelas

Tabela 01	Ponderação das Classes	27
-----------	------------------------	----

## 1 INTRODUÇÃO

A mineração é um dos principais setores básicos da economia brasileira e se iniciou no período da colonização portuguesa, sendo que a descoberta das primeiras jazidas de ouro na região de Sabará e Caeté, no estado de Minas Gerais, datam de 1630.

O grande impulso exploratório motivado pela descoberta deste metal precioso causou seu esgotamento em um curto prazo de 200 anos. Foi no início do século XX que a mineração brasileira encontrou um novo foco de exploração – o minério de ferro – tornando-se um dos grandes responsáveis pela definição de alguns processos de ocupação territorial, formação da sociedade e economia do país.

Nas últimas décadas, o Brasil ocupa um dos maiores postos na exploração mineral do mundo, com aproximadamente 81 substâncias extraídas, destacando o minério de Ferro 82,6%, conforme a figura 01:

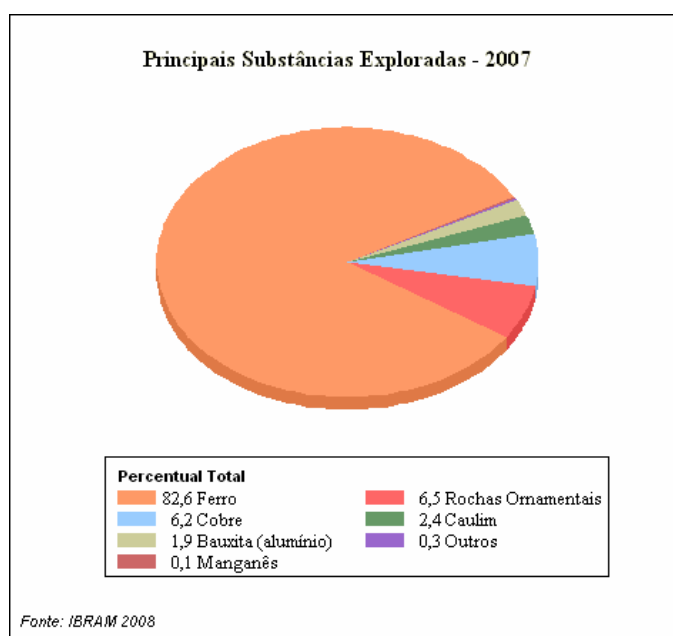


Figura 01: Gráfico da Produção Mineral Brasileira.

Estudos do IBRAM (Instituto Brasileiro de Mineração), no ano de 2007, indicaram que o setor contribuiu com U\$ 70 bilhões, ou seja, 5% do PIB nacional. O crescimento da China – maior consumidor de minério de ferro do mundo - aliado ao avanço tecnológico de extração mineral, gestão e implementação de estruturas de produção dessa matéria, foram fatores delineadores do referido crescimento.

Um dos grandes avanços da engenharia mineral da atualidade é o dinâmico escoamento da matéria prima para os portos instalados no litoral do país. Devido os altos custos de manutenção e instalação de rodovias e ferrovias, o transporte de minerais por dutos passou a desempenhar um papel de destaque no planejamento destas atividades.

Entende-se por essa modalidade de transporte, qualquer material transportado sob pressão no interior de uma linha de tubos, constituindo neste sistema: estações de bombeamento, tubulações, válvulas e terminais. Este conjunto forma um complexo sistema, cuja implantação, manutenção e supervisão requerem uma transição multidisciplinar em várias áreas da engenharia, meio ambiente, sistemas computacionais, entre outras.

O transporte por dutos no Brasil é, em sua maioria, operado pelas suas empresas petrolíferas e petroquímicas. A subsidiária da Petrobrás, *Transpetro*, é responsável por quase a totalidade da malha dutoviária nacional, na qual o petróleo e gás são transportados entre os diversos centros de produção, distribuição e terminais de refino.

O método de transporte mineral em dutovias é uma prática pouco usual no Brasil, porém bastante significativa se considerar a logística. Atualmente, o maior mineroduto em operação no mundo é o da empresa SAMARCO, com o comprimento de 396km, que liga a mina de Germano (município de Mariana, MG) ao porto de Ubu (município de Anchieta, ES). O minério de ferro extraído da mina passa pelo processo de moagem, é transformado em polpa e acrescido de água – para ter fluidez e ser passível de ser transportado por pressão de bombeamento no interior das tubulações até o terminal.

Recentemente, grandes mineradoras buscam investir neste sistema de transporte de polpa de minério, com a finalidade de reduzir os custos da logística ferroviária, responsável por grande parte do transporte mineral brasileiro. Com isso, há um ganho significativo no volume de matéria transportada, uma vez que o duto opera de forma contínua.

Para projetar os dutos, é necessário o entendimento e domínio do espaço no qual o projeto será inserido, como áreas de interferência urbana, vegetal, topográficas, geológicas, entre outras. O geoprocessamento, através dos Sistemas de Informações Geográficas – SIGs – possibilitam um melhor controle, gestão e planejamento territorial das áreas nos quais pretende-se instalar uma dutovia, tornando-se uma ferramenta indispensável no processo inicial do projeto.

Visando utilizar técnicas que o geoprocessamento oferece aos usuários dos SIGs, o presente estudo cria um modelo de análise espacial que resulta em um mapa, onde estará contida a potencialidade construtiva de um mineroduto de polpa de ferro, em uma região específica, obedecendo todas as premissas de um projeto conceitual deste tipo de material.

O objetivo deste mapa é indicar as áreas ótimas para implantação do sistema dutoviário, visando dinamizar o tempo de escolha do traçado na presente etapa e também subsidiar levantamentos cartográficos em etapas posteriores, em relação ao refinamento da rota nas escalas maiores, como 1:10.000 ou 1:1.000.

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 Breve Histórico do Geoprocessamento

A história do geoprocessamento está intimamente ligada à evolução dos sistemas computacionais e a necessidade de domínio das informações espaciais de qualquer natureza. Segundo Câmara e Davis (2004), a busca por informações da distribuição geográfica de fenômenos, recursos naturais, minerais, entre outros, sempre pautou como uma das características das sociedades organizadas. Neste sentido, foi na década de 1950 que os Estados Unidos e Inglaterra desenvolvem alguns conceitos técnicos de análise espacial. Vale ressaltar que a aplicabilidade destes métodos era inexistente, uma vez que os computadores eram de baixa capacidade de armazenamento, processamento e com custos operacionais exorbitantes.

*“Geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas computacionais para o tratamento da informação geográfica e vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional. As ferramentas computacionais para geoprocessamento são chamadas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar banco de dados geo-referenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos.”* Câmara e Davis (2004)

Na década de 1960 surgiram os primeiros Sistemas de Informação Geográfica, acompanhando o processo evolutivo computacional. Este sistema foi desenvolvido pelo governo Canadense, liderado pelo geógrafo inglês Roger Tomlinson, que buscava levantar os recursos naturais disponíveis no país e disponibilizá-los em ambientes computacionais, visando a fácil manipulação de consulta cartográfica.

Devido à indisponibilidade tecnológica da época, o projeto se tornou muito oneroso e não obteve uma dinâmica aceitável. O grande avanço do geoprocessamento neste período – marcado por recursos tecnológicos ineficientes – foi o desenvolvimento de conceitos e técnicas da disciplina. Neste contexto foi criado o Laboratório de Computação Gráfica de Harvard, referência na formação dos criadores de importantes SIGs da atualidade, como David Sinton (Intergraph), Jack Dangermond (ESRI), Lawrie Jordan e Bruce Rado (ERDAS).

Nos anos 1970, com o desenvolvimento tecnológico computacional, o SIG canadense pôde ser operado. Embalados pela euforia dos resultados atingidos, surge uma onda de SIGs com diversas finalidades, como o USGS que armazenava informações geológicas dos Estados Unidos e o Atlas Urbano de Jerusalém, contendo um banco de dados de informações cadastrais da cidade. Foi neste período que desenvolveram o sistema de posicionamento global (GPS), com o lançamento dos satélites NAVSTAR, bem como o



marco inicial das missões dos satélites imageadores da série LANDSAT. Vale ressaltar o surgimento dos sistemas comerciais do CAD (*Computer Aided Design*), fundamentais para o desenvolvimento vetorial de bases cartográficas automatizadas. Porém, o alto custo das estações de trabalho permitiu apenas grandes organizações a trabalharem com esta tecnologia.

Na década de 1980, a popularização dos SIGs acompanhou o desenvolvimento da tecnologia computacional. Já era possível ampliar a aplicabilidade dos SIGs em função da queda de preço dos computadores que trouxe, como uma das conseqüências, o lançamento dos SIGs comerciais, como *ArcInfo* e *MapInfo*. Neste período, associações acadêmicas da disciplina surgiram nas principais universidades do mundo, com o intuito de discutir a disseminação de dados e os rumos da tecnologia para as próximas décadas. No Brasil, a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e o Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) iniciaram estudos relacionados à disciplina, no qual se tornaram referências mundiais.

Nos anos 1990 surgiu o sistema operacional da *Microsoft*, o *Windows*, responsável por aproximar um número expressivo de usuários, uma vez que os sistemas apresentaram interface gráfica simples. Ressalta-se, ainda, a evolução dos *hardwares*, que já permitia o uso dos *PCs Personal Computers*. Ainda nesta década, o INPE lançou o *software* SPRING (Sistema para Processamento de Informações Geográficas), livre de comercialização. Este SIG, baseado em um modelo de dados orientado a objetos, possibilita o tratamento de imagens oriundas de sensoriamento remoto, mapas temáticos e cadastrais, redes e modelos digitais de terreno.

Atualmente, o acesso a bases georreferenciadas e consultas espaciais tornou-se comum a qualquer usuário doméstico de computadores. O rápido processamento, aliado à alta capacidade de armazenamento e baixo custo dos *hardwares*, permitiu uma popularização maciça dos conteúdos espaciais disponíveis, principalmente na *internet*. O *Google Earth*, tão comumente utilizado na atualidade, não pode ser considerado um SIG, embora a idéia do armazenamento e localização das informações espaciais em uma única base de dados nos remete a um dos significados da tecnologia do geoprocessamento que incorpora o produto.

Os *softwares* livres e comerciais atingiram um alto nível de confiabilidade e praticidade, ao modo que as iniciativas públicas, privadas e não governamentais passaram a tratar o geoprocessamento como ferramenta imprescindível de planejamento estratégico e domínio de informações. As imagens de satélites e ortofotos de alta resolução, bem como os mapeamentos a laser, tornaram-se produtos indispensáveis na disciplina sensoriamento remoto, também relacionada ao geoprocessamento atual.

No entanto, aplicações do geoprocessamento no Brasil concentram em áreas específicas, como meio ambiente, geologia e planejamento regional. Vale ressaltar a multidisciplinaridade da técnica, principalmente em outras áreas que envolvem o conhecimento dos elementos naturais e antrópicos que compõem o espaço geográfico.

## 2.2 Operações com o uso do geoprocessamento

Os SIGs permitem uma série de operações e associações com vetores (linhas pontos e polígonos) e matrizes (arquivos *raster*). Estas informações são coletadas de diversas fontes, como restituições aerofotogramétricas, imagens orbitais, sensores laser, GPS, ortofotos, levantamentos topográficos, digitalização e vetorização de mapas analógicos, além da capacidade de associar estes objetos a atributos em tabelas de banco de dados.

O grande diferencial dos SIGs para outros sistemas de informação é a capacidade de análise espacial destes elementos, principalmente às informações matriciais ou vetoriais, através da técnica denominada Álgebra de Mapas.

O elemento matricial é composto por uma contínua matriz de *pixels* (Figura 02), definindo sua resolução espacial, onde cada pixel armazena uma única informação. A imagem abaixo representa um arquivo raster, da foz de um rio, extraído da composição colorida do satélite LANDSAT 7 ETM+. Neste exemplo, a dimensão de cada pixel é 30mx30m, ou seja, sua resolução espacial é de 30m, ideal para trabalhos em escalas superiores a 1:50.000.

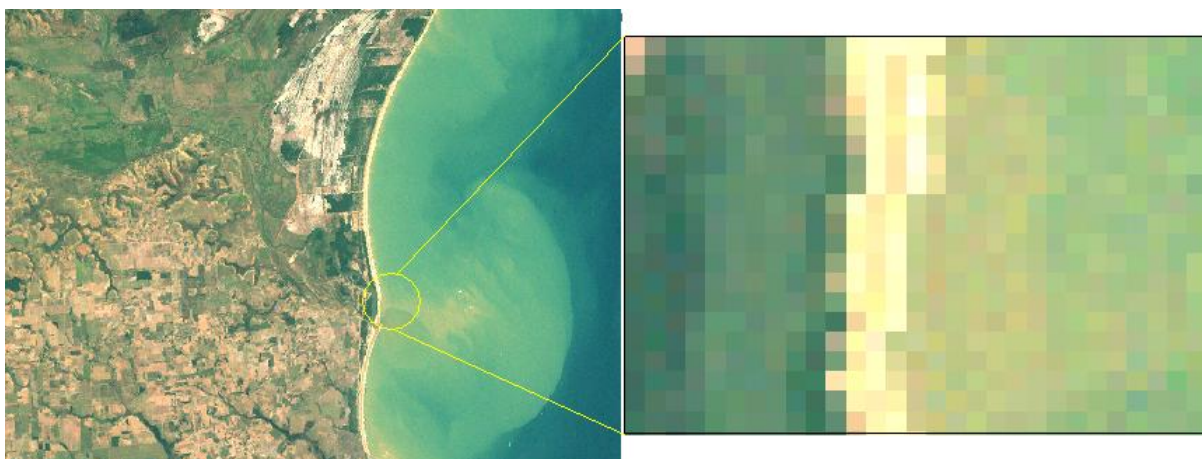


Figura 02: Composição matricial.

Vale ressaltar que, quanto menor a resolução espacial, melhor a qualidade da imagem. Porém, o tamanho do arquivo acompanha a proporção do aumento da resolução, e, dependendo da escala de trabalho, pode se tornar um entrave na dinâmica do processamento da imagem e dos resultados dentro de um SIG.

### 2.2.1 Álgebra de mapas

A álgebra de mapas é a técnica elaborada a partir da análise do valor de cada pixel de um arquivo raster. Este elemento pode ser processado unicamente, bem como na tendência geral da vizinhança ou região em que está contido.

Os SIGs subsidiam esta análise através de vários operadores matemáticos entre os pontos, vizinhança e regiões dos pixels do raster, semelhante às equações da álgebra. Com isso, o processamento destas informações – através de técnicas matemáticas – geram novos produtos cartográficos que contém ricas informações espaciais passíveis de interpretação.

Um exemplo dessa operação é a extração da declividade do arquivo raster oriundo da SRTM (figura 03), missão da NASA em 2000, que mapeou todo relevo da superfície terrestre, através de radar, produzindo arquivos raster cujo cada pixel (90mx90m) possui um valor da média altimétrica da região.

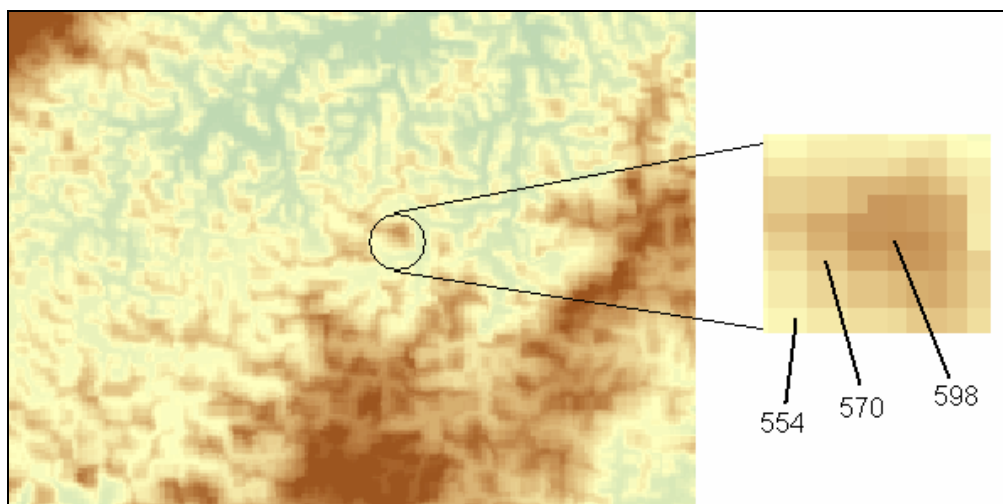


Figura 03 Exemplo da matriz do SRTM.

O conjunto dos pixels com valores da altimetria deriva um mapa hipsométrico, onde os pontos mais altos assumem colorações mais fortes e os mais baixos, tons pastéis. Para extrair a declividade, o SIG utiliza-se essa vizinhança de valores altimétricos e, através de processos matemáticos, calcula-se a declividade entre os pixels (figura 04), gerando o mapa temático de declividade.

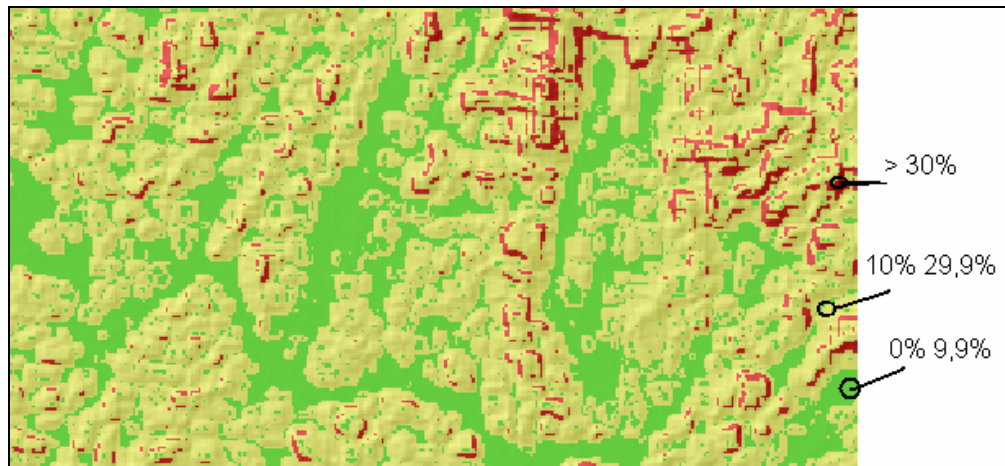


Figura 04 Extração da declividade do terreno.

Nos aspectos visuais, as operações citadas são de grande valia para a detecção de áreas com alguma característica específica, embora os SIGs permitem análises ainda mais ricas e criteriosas com estes produtos rasters, como a sobreposição dos mapas utilizando a Análise Milticritério.

Esta metodologia de análise é uma das mais importantes aplicações que um SIG pode oferecer. Nela, produtos cartográficos rasterizados podem ser sobrepostos, sob a condição que suas matrizes de pixels sejam de igual dimensão. Os SIGs operam modelos aritméticos entre estes mapas, gerando um produto cartográfico final.

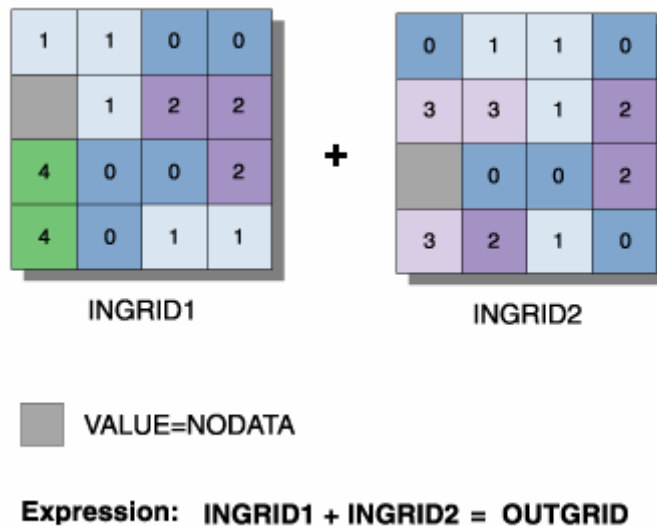
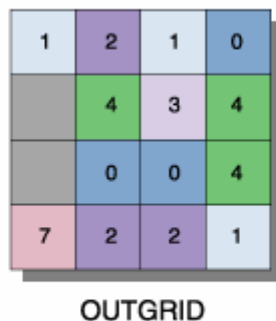


Figura 05: Álgebra de mapas – entrada. Fonte: ESRI 2008

Se adicionarmos a sobreposição do mapa 'iNGRID1' com o 'iNGRID2' (figura 05), obteremos a fusão dos pixels e, se ponderarmos os pixels de cada mapa, com pesos correspondentes às características a serem analisadas, obteremos a soma dos pesos como produto cartográfico final, como demonstra o desenho abaixo.



**Expression: INGRID1 + INGRID2 = OUTGRID**

Figura: 06 Álgebra de Mapas – Saída. Fonte: ESRI 2008

A aplicabilidade deste método é constantemente utilizada nas áreas de planejamento comercial, bem como na detecção de áreas degradadas num intervalo de tempo. Porém, o seu uso pode ser potencializado em diversas aplicações que envolvem a interação do homem no espaço.

### 2.3 Dutos

Segundo o glossário da Agência Nacional de Petróleo e Gás, duto é a designação genérica da instalação constituída por tubos ligados entre si, destinada à movimentação de petróleo, seus derivados e gás natural e, ainda, pode ser classificado como duto de transporte ou de transferência.

Existem diferentes tipos de materiais para compor um duto, sendo os mais utilizados os de materiais não metálicos (PVC, PEAD e concreto), e, na maioria deles, os de aço. Em relação ao ambiente que estão inseridos, os dutos podem ser enterrados, aéreos, submarinos ou flutuantes. Ressalte-se, ainda, que esta modalidade de transportes é comum em países que exploram recursos petrolíferos e necessitam de uma logística dinâmica nos processos de circulação da matéria prima.

No Brasil, a primeira linha de dutos registrada foi construída em 1942, no estado da Bahia, com extensão de 1 km, contendo petróleo dos campos de Itaparica e Joanes e seguindo até a refinaria de Aratu.

Hoje, estima-se que o Brasil contém uma malha dutoviária aproximada de 16 mil quilômetros, sendo a grande maioria pertencente à Petrobrás. A maior delas é o gasoduto Brasil-Bolívia, entre São Paulo e Santa Cruz de la Sierra, com aproximadamente 2.000 km de extensão.

A partir da década de 1980, a companhia aumentou expressivamente sua malha em todas as regiões do país. Nos anos 1990, com o auxílio da informática, foram desenvolvidos sistemas de controle e operação dos dutos, como o SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), além dos SIGs. Hoje, 4% da produção de matéria é transportada por este meio, perdendo para os 61% do transporte rodoviário.

Os custos de implantação deste tipo de estrutura são elevados, embora o baixo custo de manutenção e riscos de acidentes tornam as dutovias extremamente confiáveis e aceitáveis na organização estratégica de logística no transporte de materiais, inclusive para substâncias como o minério de ferro que, hoje, é transportado por ferrovias em sua maioria.

### **2.3.1 Minerodutos**

Os minerodutos são dutovias responsáveis pelo transporte de minério através de bombeamento dessa substância em forma de polpa. As substâncias minerais mais comuns transportadas são sal-gema, minério de ferro, minério de bauxita e concentrado fosfático.

A denominação polpa de minério infere o uso de fluidos, como a água, que, misturada com o mineral, compõe um material pastoso passível de ser bombeado por centenas de quilômetros de dutos.

Em suma, a estrutura desse sistema de transporte contém tanques de armazenagem e agitadores localizados na planta da mina, no qual a polpa do minério é moída. As Estações de Bombeamento são responsáveis pela força da carga do bombeio do material até o terminal e, ao longo desse trajeto, faz-se necessária a implantação de Estações de Válvulas que controlam a pressão interna dos dutos, com a finalidade de manter a pressão estática durante o percurso.

Toda dutovia possui sua faixa de servidão, uma vez que ela está inserida poucos metros abaixo ou na superfície do solo. O processo de execução de uma obra de dutos consiste na limpeza e remoção da cobertura vegetal dessa superfície, escavamento de uma vala para abrigar os dutos enterrados e, quando necessário, terraplenagem.

Ressalta-se que todo este processo deve ser elaborado com um envolvimento multidisciplinar, inclusive no que tange os aspectos sócio-ambientais. Segundo o normativo elaborado pela Petrobrás N-2624 - referência para qualquer implantação de dutos – existem várias premissas que devem ser respeitadas quanto à escolha de um traçado de dutos, sendo os mais importantes:

- evitar sempre que possível a passagem da tubulação por mata nativa;
- escolher áreas onde a movimentação de terra necessária na fase de construção seja menor possível, a fim de evitar problemas de erosão e assoreamento;
- construir a linha dutoviária o mais linearmente possível, como forma de diminuir a área impactada;
- nos casos de travessias de cursos d'água, o local deve ser o mais estreito possível e que permita uma travessia ortogonal ao curso, de modo a diminuir ao máximo a interferência com o leito do rio;
- evitar os vetores de crescimento urbano e pólos industriais dos municípios, a fim de reduzir futuras interferências destes com a dutovia;
- evitar local a tubulação em brejos, afloramentos rochosos, terrenos com baixa suportaçã, encostas e terrenos susceptíveis a deslizamentos.

Além de obedecerem a aspectos de interferências, a maioria dos minerodutos exige declividade do terreno igual ou inferior a 15%. Acima disso, a polpa decanta no interior da tubulação e o bombeamento passa ser ineficaz.

O uso de dados topográficos e *softwares* capazes de processar estas diversas informações tornou-se rotina nos projetos dutoviários. As plataformas CAD e GIS subsidiam grandes tomadas de decisões, juntamente com os dados georreferenciados extraídos dos GPS.

A manipulação da informação de projetos de dutos está evoluindo à medida que novas metodologias surgem, embora alguma delas um pouco inibidas, como o GIS. Atualmente, os GIS são utilizados com o intuito de localizar eventos, mapear e gerir projetos em todas as etapas, mas algumas ferramentas com grande potencial, principalmente as relacionadas à análise espacial, ainda não configuram este cenário.

Vale ressaltar que uma série de estudos de dutos relacionados com o geoprocessamento já foram efetuados, como Hasenackl & Weber (1998), mas este focou os gasodutos, que possuem características diferentes dos minerodutos, em questões construtivas.

### 3 METODOLOGIA

A pesquisa consiste na utilização de metodologias de análise espacial para traçar uma rota de dutos na etapa conceitual. Entende-se como conceitual um estudo que definirá um eixo principal, no qual futuramente produtos cartográficos com escalas mais detalhadas subsidiarão um refino da rota. Com o material cartográfico mais preciso, poderão ser atendidas todas as interferências, uma vez que os produtos usados para rotas conceituais são imagens de satélites e cartas do IBGE, nas escalas 1:50000 e 1:100000.

Consta também no processo conceitual a estimativa dos custos de capital (CAPEX) e operacional (OPEX) do projeto, sendo que estas transitam na casa dos 30% de precisão orçamentária e, desta forma, o máximo de informações extraídas dos SIGs contribuem em muito uma melhor precisão nos custos da obra do mineroduto.

Assim, inicialmente foram levantados pontos fictícios de partida (mina) e chegada (terminal portuário) do mineroduto, uma vez que a intenção é criar um modelo passível de ser aplicado em vários projetos dutoviários, em qualquer parte do mundo.

#### Coordenadas dos pontos:

- Mina: E= 166.876 / N= 7.654.985 / Z= 253m / Fuso 24 S / Datum: SIRGAS 2000.
- Terminal: E= 307.240 / N= 7.664.223 / Z= 8m / Fuso 24 S Datum: SIRGAS 2000.

Após a definição dos pontos de origem e destino, iniciou-se o processo de levantamento dos dados, bem como análises metodológicas do estudo. Vale ressaltar que o estudo evitou levantar a legislação ambiental vigente na região dos pontos, uma vez que se trata de uma simulação e o estudo ambiental necessita de uma análise criteriosa de vários aspectos relacionados ao espaço que a rota do duto será inserida.

#### **3.1 Análise Espacial**

A pesquisa utilizou a técnica de álgebra de mapas no *software ArcGis 9.2* para adquirir os resultados esperados. Este GIS contém uma vasta coleção de ferramentas e pacotes com diversas finalidades e os aqui utilizados serão os *Spatial Analyst* e *3D Analyst*.

O aplicativo forneceu apoio à soma aritmética do peso cada pixel dos produtos cartográficos rasterizados através da calculadora raster do software. Estes produtos cartográficos foram extraído de diversas fontes que disponibilizaram gratuitamente as informações. Em suma, ocorreu uma sobreposição de todos os mapas levantados, e o produto final foi um mapa resultante da soma de todas estas informações.



### 3.1.1 Aquisição de dados

Os materiais necessários para a pesquisa são de domínio público e gratuitos. Serão adquiridas coleções de arquivos rasters como:

- Imagens do Satélite LandSat 7 ETM+<sup>1</sup> no *Earth Science Data Interface* (ESDI), disponibilizados pelo site através de *downloads* de todas as bandas do satélite.
- Imagens SRTM com resolução de 90m, disponível no site da “Embrapa Monitoramento por Satélite”.

### 3.1.2 Tratamento das informações

Após a criação do banco de dados de informações rasters, foram criados mosaicos coloridos 543 RGB das imagens LANDSAT-7 ETM+1 (figura 07), fundidas na banda pancromática para melhoria da resolução espacial. Esta composição colorida de imagens facilita a detecção de vegetação, cobertura do solo e hidrografia.

---

<sup>1</sup> Landsat-7 ETM+: O satélite foi lançado em 1999, financiado e mantido pela NASA. Possui 8 bandas espectrais, inclusive uma banda Pancromática com resolução de 15 m e duas termais, oferecendo uma gama de imagens compostas por várias cores do espectro-eletromagnético. Fonte: NASA.

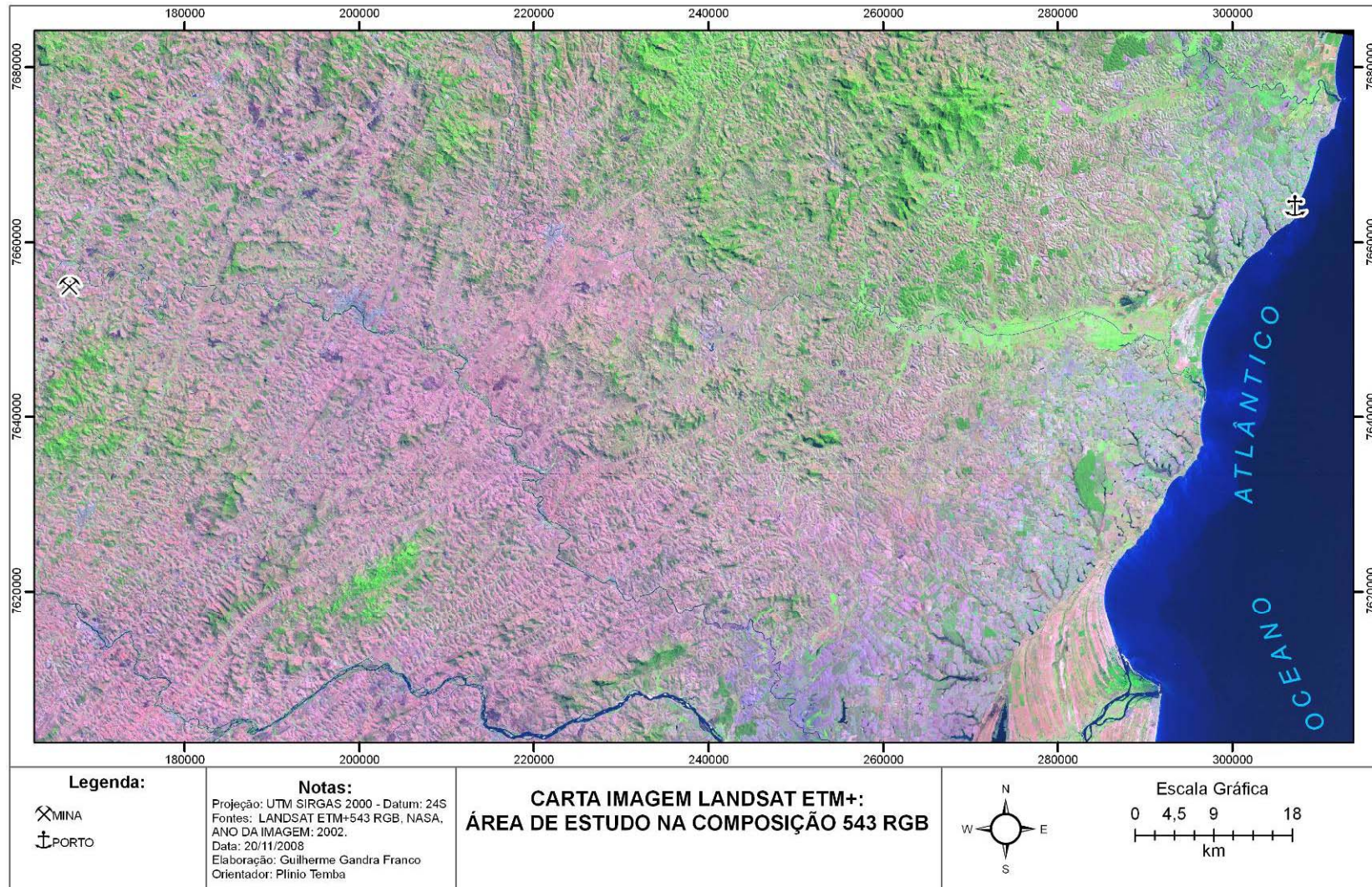


Figura 07: Carta Imagem 543 RGB

Também foi criada uma composição das imagens do satélite LANDSAT ETM+ 753 RGB (figura 08), para detectar afloramentos rochosos e áreas urbanas, utilizando o mesmo método de fusão com a banda pancromática para obter melhor resolução, conforme o próximo mapa.

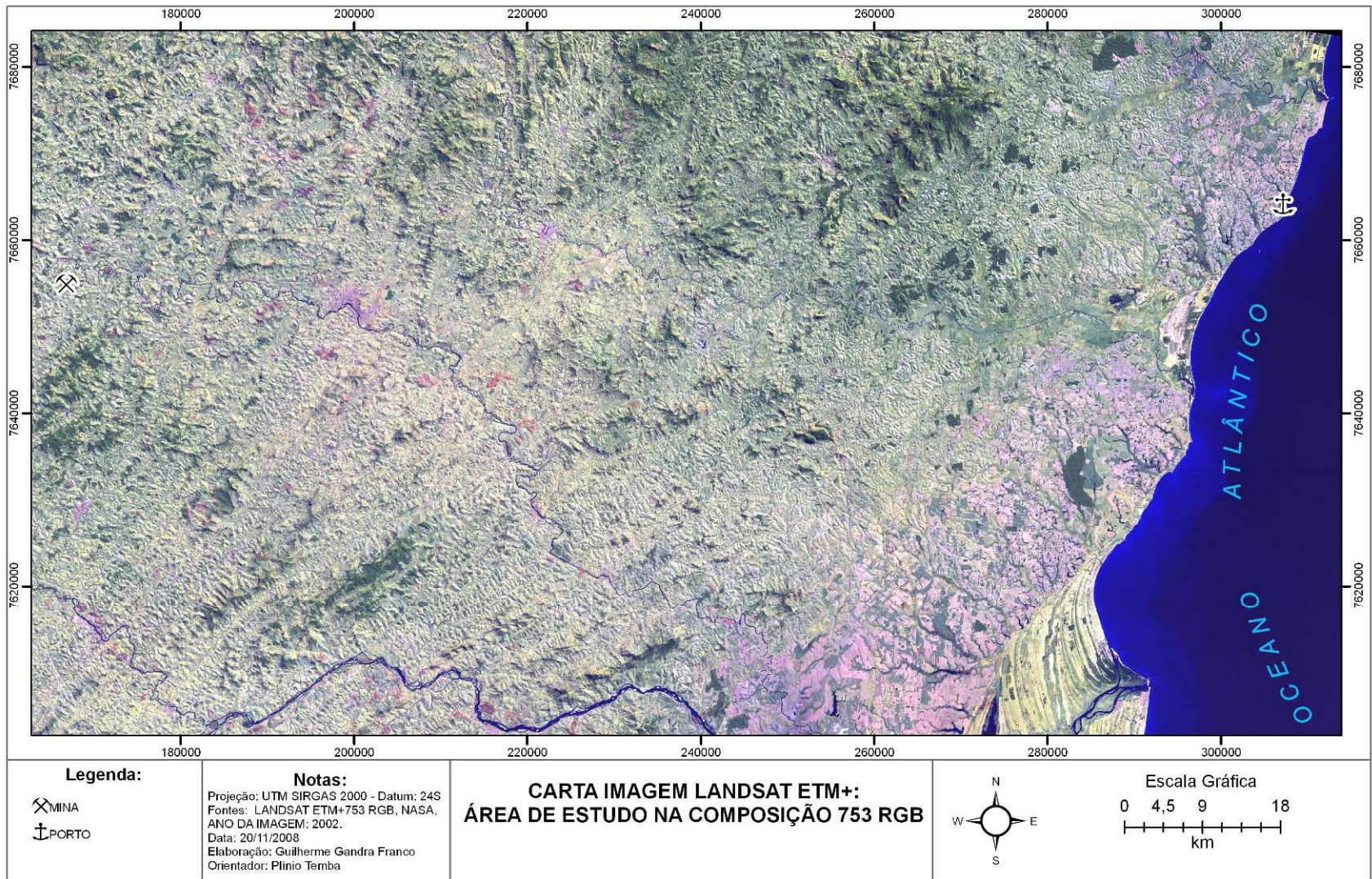


Figura 08: Carta Imagem 753 RGB

As imagens de satélites são frutos da interação de um objeto ou alvo, com a radiação solar. Cada objeto na superfície da terra comporta de forma peculiar quando incide a luz solar e parte da energia absorvida vira calor e a energia refletida se espalha. Os satélites são capazes de capturar a reflexão e absorção de qualquer objeto, de acordo com os comprimentos de ondas eletromagnéticas emitidas criando, assim, a assinatura espectral de cada alvo.

As composições coloridas 543 e 753 (figuras 07 e 08) serviram para extrair a hidrografia e os vários aspectos da cobertura do solo da região. O *software ArcGis* capturou a assinatura espectral dessas áreas e gerou um mapeamento temático conforme as figuras 9 e 10:

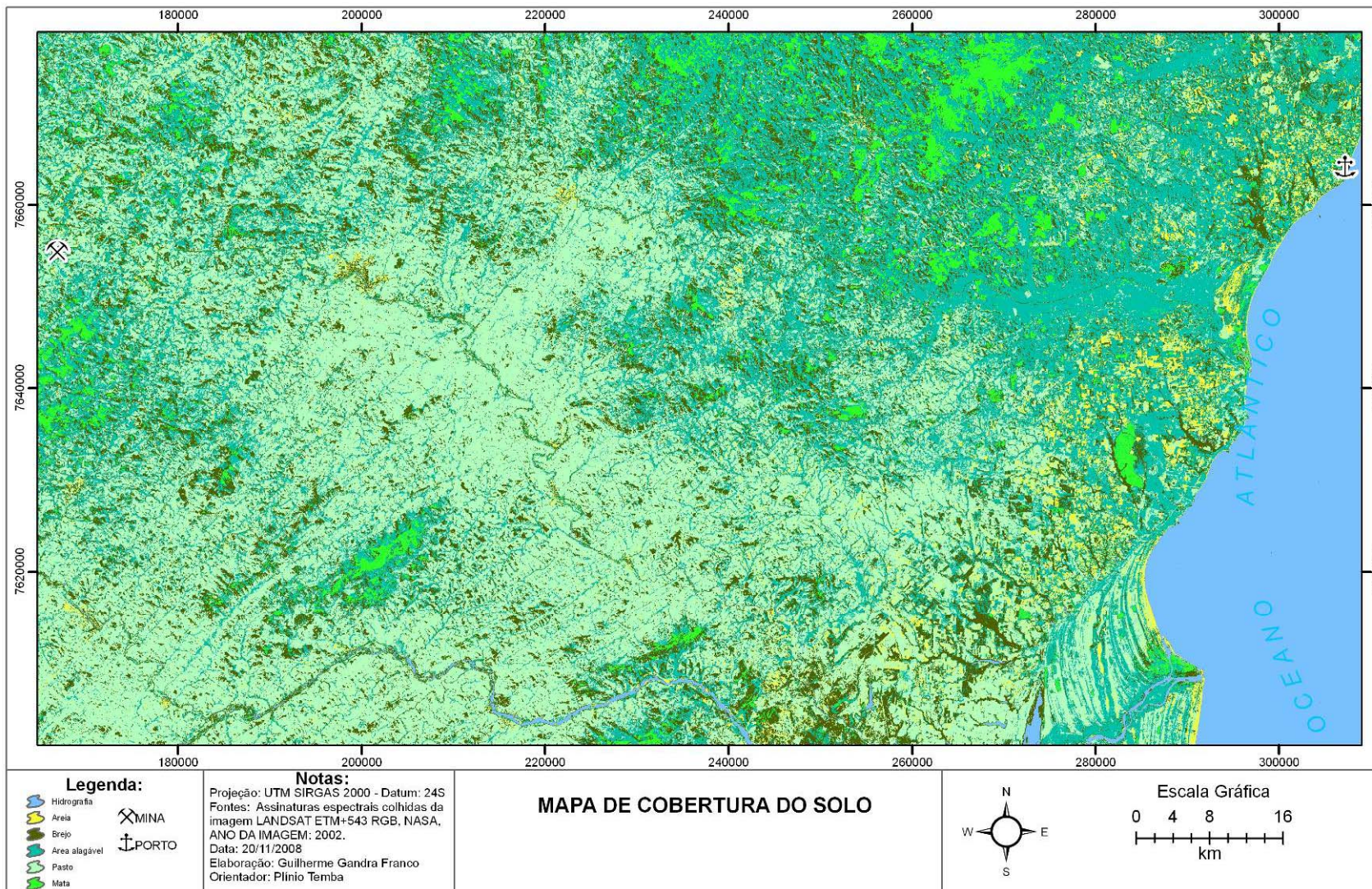


Figura 09: Composição temática do LandSat 543

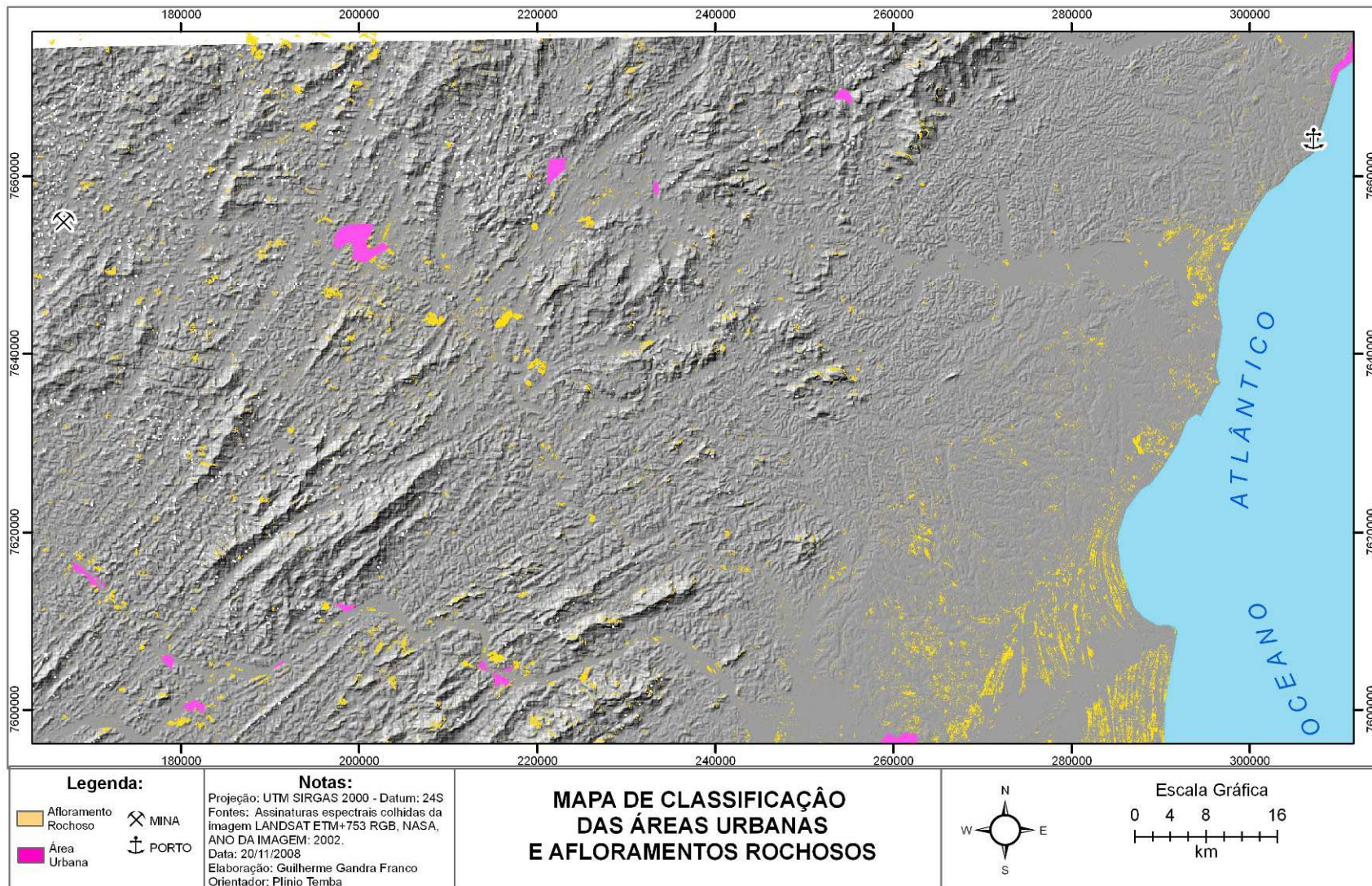


Figura 10: Composição temática do LandSat 753

Após a criação do mapa temático em classes de uso e cobertura do solo, foram criados os dados da declividade (figura 11) e hipsometria da região (figura 12), utilizando as imagens SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*).

A missão SRTM efetuada pela NASA, no ano 2000, baseou-se num levantamento da topografia do planeta Terra através da técnica de radar. O produto final foi uma base de arquivos raster com resolução espacial 90x90m, cujo cada pixel armazena o valor da altitude média da área de 90x90m. É importante ressaltar que esse nível de escala não é adequado para trabalhos com escalas maiores que 1:100.000, mas sim para estudos conceituais, uma vez que se trata de uma estimativa.

Através das técnicas de álgebra de mapas, podemos definir a declividade e a hipsometria. Ambos parâmetros também foram separados em classes, uma vez que deve-se obedecer a declividade inferior a 15%, bem como o gradiente de cota deve ser bem analisado, já que um terreno muito irregular demanda mais energia da Estação de Bombas ou até a instalação de outra Estação, aumentando consideravelmente o custo da obra.



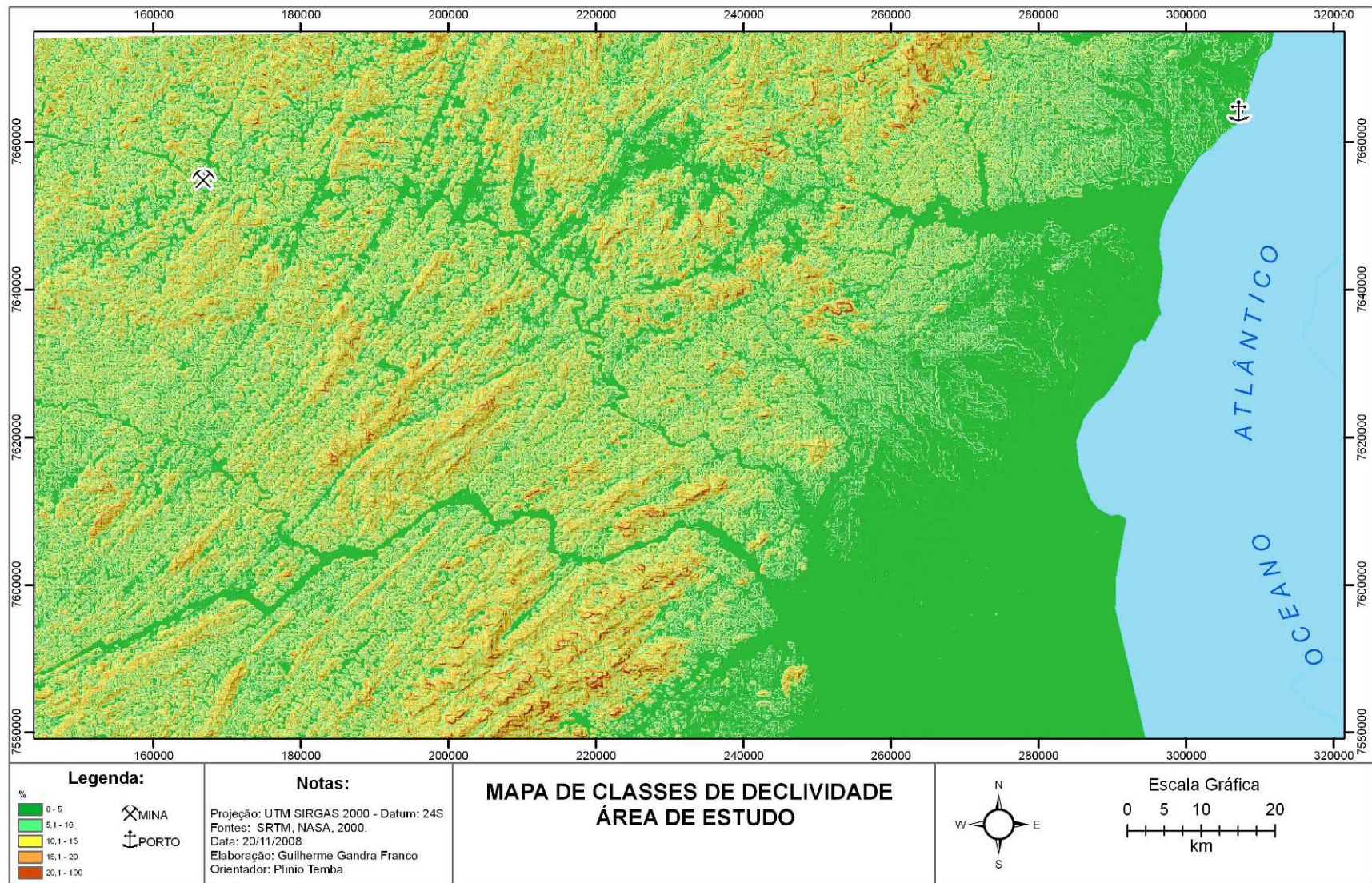


Figura 11: Mapa de declividade

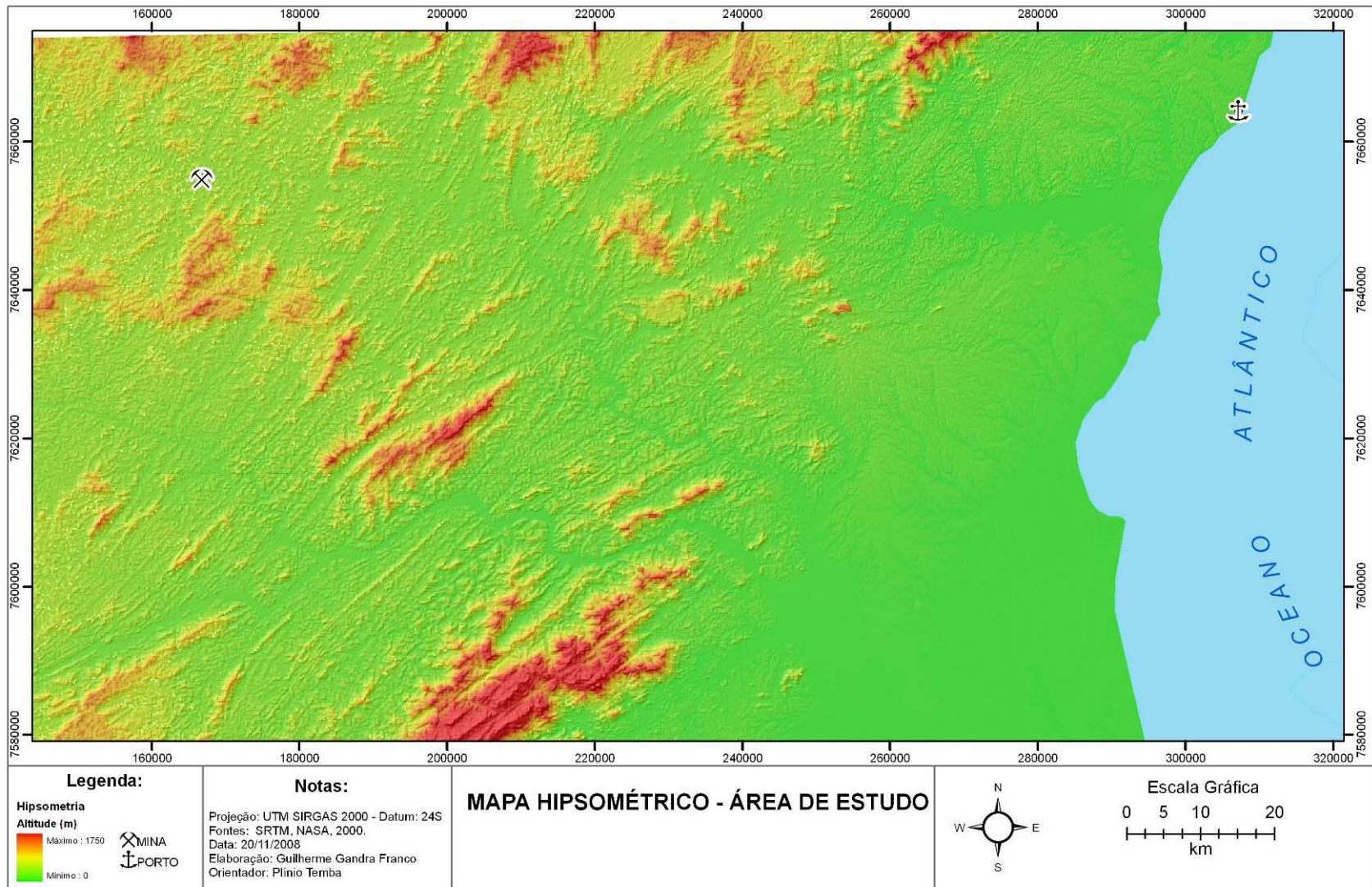


Figura 12: Mapa hipsométrico

Com a base de dados raster classificada, a segunda etapa consistiu na ponderação das classes para o cruzamento das informações para, em seguida, definir as áreas ótimas para passagem do mineroduto.

Foi elaborada uma tabela (tabela 1) contendo todas as classes mapeadas, com a intenção de que os profissionais de diversas disciplinas da área de dutos ponderassem as possíveis interferências, de acordo com a viabilidade construtiva. Todos os profissionais possuem experiência na área de minerodutos e, com isso, foi efetuado uma média geral das seguintes classes:

Peso:

1: Excelente

2: Bom

3: Médio

4: Ruim

5: Impraticável

<b>Classes</b>	<b>Peso</b>
Travessia de corpos d'água com distância entre margens superior a 16m	2
Construção de dutos em áreas urbanas	5
Construção de dutos em áreas com afloramentos rochosos	5
Construção de dutos em áreas alagadas ou brejos	4
Construção de dutos em mata fechada	3
Construção de dutos em áreas de pastagens	1
Construção de dutos em terrenos arenosos	2
Construção de dutos em áreas com declividade de 0 a 5 %	1
Construção de dutos em áreas com declividade de 5 a 10 %	2
Construção de dutos em áreas com declividade de 10 a 15 %	3
Construção de dutos em áreas com declividade superior a 15 %	5
O gradiente máximo de elevação for 500m acima da casa de bombas	4
O gradiente máximo de elevação for 1000m acima da casa de bombas	4
O gradiente máximo de elevação for 100m acima da casa de bombas	2

Tabela 1: Ponderação das Classes

Após a distribuição dos pesos em suas respectivas classes, foi utilizado o método da soma (sobreposição) dos mapas, para obter um cartograma coroplético (figura 13) definido de acordo com o resultado a operação aritmética efetuada no GIS, resultando no seguinte mapa:

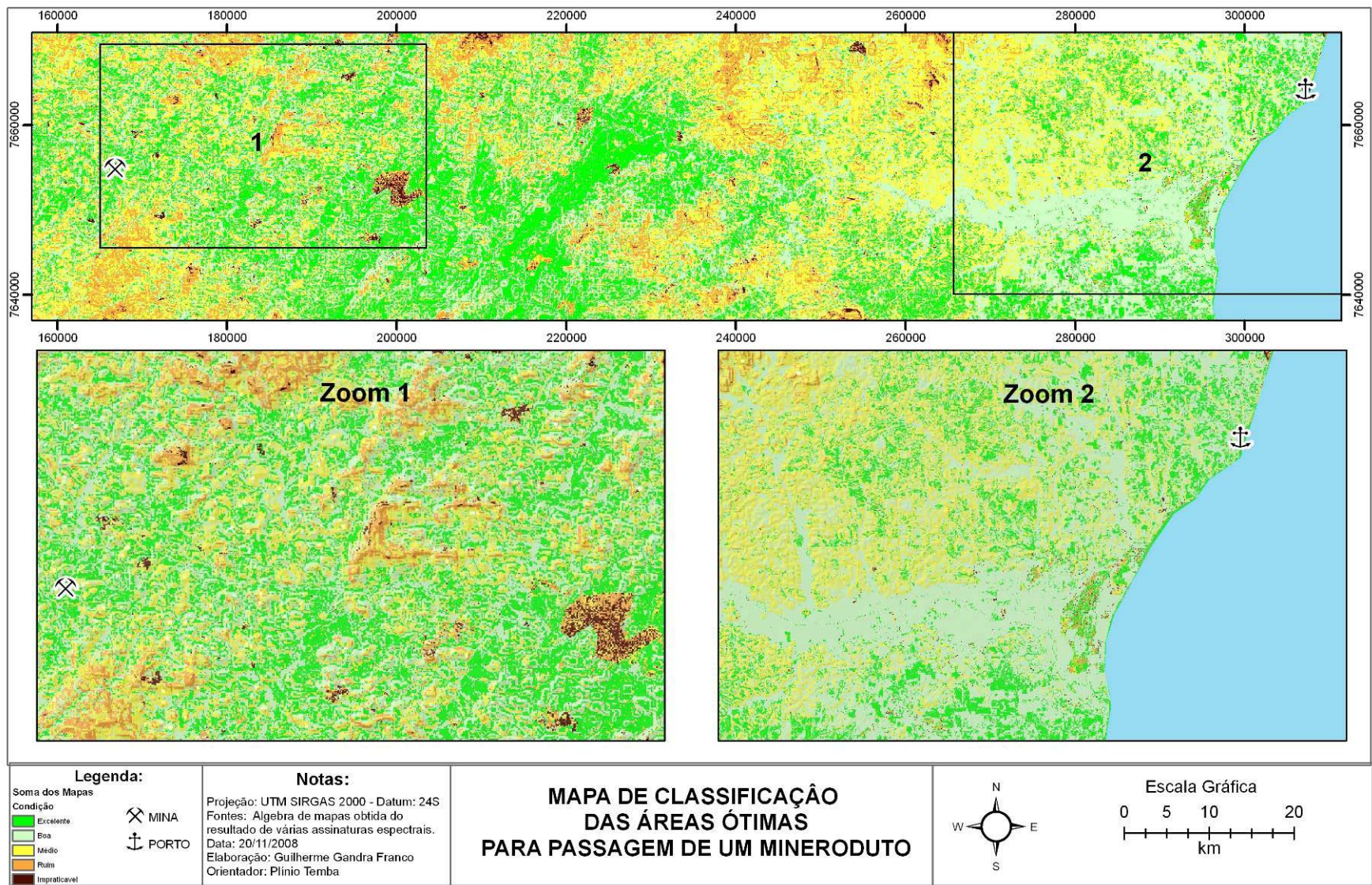


Figura 13: Mapeamento Final: Áreas ótimas para construção do mineroduto

Obs: A área de representação é muito extensa, com isso, utilizou-se no layout duas janelas de Zoom (zoom 1 e 2) para evidenciar, com mais detalhes, o resultado final das somas dos mapas. 28

#### **4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Após efetuar a álgebra de mapas, o resultado obtido em escala coroplética demonstrou as áreas potenciais para instalação de um duto. O produto raster possui grande confiabilidade nos dados encontrados, uma vez que as áreas impraticáveis são nitidamente evidenciadas.

Vale ressaltar que o mapa final fornecido pelo SIG subsidia análises preliminares, contribuindo para a escolha de rota, mas jamais substitui a etapa empírica de reconhecimento do traçado em campo.

A resolução espacial do arquivo de 15m possibilitou trabalhar com a escala 1:50.000, em uma etapa conceitual, é um excelente produto. O dinamismo para obtenção deste mapa de áreas ótimas conta como outro ponto a favor. O trabalho de classificação e processamento das imagens são efetuados em poucas horas, reduzindo os custos e horas trabalhadas em projetos de tomadas de decisões.

Pode-se acrescentar outras funções nos SIGs, como cálculo da distância com menor custo – ferramenta que traça automaticamente uma rota evitando passagem por áreas não apropriadas; ou quantificação de áreas boas e ruins – modelo que extrai em metros quadrados, hectares ou acres a área total de cada classe atingida.

Este mapa também serve para sobreposições com cartas do IBGE e outros produtos cartográficos oficiais, utilizados para diversos fins, tornando uma simples e bem elaborada ferramenta de compreensão do espaço.

#### **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Observa-se que os SIGs possuem grande potencial para planejamento e tomadas de decisões. Através de cálculos aritméticos simples, obteve-se um resultado de fácil e rápida interpretação. Contudo, é importante evidenciar que todos os processos utilizados nos SIGs demandam uma profunda análise das disciplinas que envolvem o geoprocessamento, como sensoriamento remoto, cartografia, estatística etc.

A definição do espaço é individual e não se pode modelar um padrão único de paisagem e intervenção, uma vez que tem que ser analisado de forma multidisciplinar, através das suas diversas manifestações culturais, conceituais e ambientais. Portanto, a contribuição deste trabalho se ateve a levantar apenas algumas possíveis interferências para projetar um duto, jamais excluindo a importância de qualquer outro tipo de parâmetro não abordado na análise.

Por fim, o resultado encontrado expressa otimismo nas aplicações dos SIGs no cotidiano da engenharia civil. A tecnologia nunca esteve tão aprimorada para trabalhar com o grande volume de informações disponíveis na atualidade e as imagens de satélites, laser, entre outros, estão se desenvolvendo. Os mapeamentos e processamentos de dados geográficos estão cada vez mais especializados, confirmando as tendências estudadas há 30 anos, relacionadas à era da informação, que exige o domínio da localização geográfica dos eventos de diversas naturezas.

## 6 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, P; SANTOS C; MEDEIROS, J.: "Avaliação de Mosaicos com Imagens LandSat TM para Utilização em Documentos Cartográficos em Escalas Menores que 1:50.000". São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005.

CÂMARA, G; MONTEIRO, A; MEDEIRO, J.: "Introdução à Ciência da Geoinformação". São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004.

CREPANI, E; MEDEIROS J.: "Imagens CBERS + Imagens SRTM Mosaicos GeoCover LANDSAT em ambiente SPRING e TerraView: Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento gratuitos aplicados ao desenvolvimento sustentável". Anais, XII Simpósio de Sensoriamento Remoto, Goiânia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005.

DAVIS, C; FONSECA, F.: "Introdução aos Sistemas de Informação Geográficos". Apostila de Curso de especialização em Geoprocessamento. Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, 2001.

DEXHEIMER, L.: "Dutovias: Infra Ferro-hidro-aero-dutoviária". Slides de aula expositiva apresentada no curso de graduação. Porto Alegre, Escola de Engenharia da Universidade do Rio Grande do Sul, 2005.

DRUCK, S.; CARVALHO, S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.: "Análise Espacial de Dados Geográficos". Brasília, EMBRAPA, 2004.

ESRI. "Spatial Analyst Guia do Usuário".  
<http://www.esri.com/software/arcgis/extensions/spatialanalyst/>. Acesso no sitio virtual em 20/11/2008.

FARIAS, C.: "Mineração e Meio Ambiente no Brasil". Relatório técnico. Brasília, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2002.

GONZALES, R; WOODS, R.: "Processamento de Imagens Digitais". São Paulo, Editora Edgard Blucher, 2000.

HASENACKL, H; WEBER, E.: "Análise de Alternativas de Traçado de um Gasoduto Utilizando Rotinas de Apoio à Decisão em SIG". Curitiba, IV Congresso e feira para usuários de geoprocessamento, 1998.

LISBOA, M; WAISMAN, J.: “Aplicação do Método de Análise Hierárquica - MAH para o Auxílio à Tomada de Decisão em Estudos de Alternativas de Traçado de Rodovias”. Rio de Janeiro, XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2003.

MANNERS, G.: “Geografia da Energia”. Rio de Janeiro, Editora Zahar, 1967.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). “Brasil em Relevo”. Campinas, Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 20 nov. 2008.

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro: “Transporte Dutoviário”. Rio de Janeiro, Aula expositiva do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Disponível em: [http://www.maxwell.lambda.ele.pucRio.br/cgi-bin/PRG\\_0599.EXE/7742\\_4.PDF?NrOcoSis=22728&CdLinPrg=pt](http://www.maxwell.lambda.ele.pucRio.br/cgi-bin/PRG_0599.EXE/7742_4.PDF?NrOcoSis=22728&CdLinPrg=pt). Acesso em: 8 nov. 2008.

STEFFEN, C.: “Introdução ao Sensoriamento Remoto”. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000.