

**MAPEAMENTO CARTOGRÁFICO COM USO DE IMAGENS ORBITAIS
COMO SUBSÍDIO À DEFINIÇÃO DO TRAÇADO
PARA O OLEODUTO GOIÂNIA/CUIABÁ**

IZABEL CRISTINA FRANCHITTO CECARELLI ¹
LUIZ LEONARDI ¹
ELINALDO ALBUQUERQUE DE VASCONCELOS ²

¹ **IMAGEM SENSORIAMENTO REMOTO S/C LTDA**
Rua Varsóvia, 37 - Jardim Augusta
12216 - 730 São José dos Campos, SP, Brasil

² **PETROBRÁS - Petróleo Brasileiro SA**
Rua General Canabarro, 500 - 8º andar
20271 - 201 Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Abstract. This work describes the procedures employed to cartography survey done to PETROBRÁS - Petróleo Brasileiro - SA with TM/Landsat 5 products, Digital Image Processing System and Geographic Information System. With purpose to help the route definition of a Pipeline between the cities of Goiânia (GO) and Cuiabá (MT).

1. Introdução

A instalação de uma obra de grande porte como o oleoduto Goiânia / Cuiabá, com 820 Km de extensão, implica em planejamento exaustivo visando a análise pormenorizada das condições do meio físico e de aspectos sócio-econômicos locais.

A utilização de metodologia baseada na análise e interpretação de imagens orbitais e do sistema geográfico de informações (SGI), vem fornecer valioso subsídio para o planejamento da instalação de obras.

Nesse aspecto, o presente trabalho apresenta dados atualizados de ocupação e uso do solo, padrões de adequação de características do meio físico com vistas à implantação da obra e informações relevantes

como linhas de transmissão de energia elétrica, áreas de proteção ambiental, reservas indígenas e áreas em processo de pesquisa ou lavra mineral. Todas essas informações estão cartografadas sobre uma base cartográfica atualizada, possibilitando, a partir de sua análise integrada, a definição do traçado mais adequado para a implantação do oleoduto.

1.1. Objetivo

O objetivo desse mapeamento cartográfico com uso de imagens orbitais foi fornecer subsídios para a definição do traçado mais adequado à implantação do oleoduto Goiânia / Cuiabá, buscando encontrar as condições mais favoráveis no terreno e

minimizar o impacto ambiental causado pela obra.

A região estudada estende-se por uma faixa de 20 Km de largura por 820 Km de comprimento, indo de Goiânia (Goiás) até Cuiabá (Mato Grosso), passando por Barra do Garças e Rondonópolis.

2. Metodologia

A metodologia utilizada constituiu-se basicamente da análise e interpretação de imagens orbitais para a elaboração de mapa de uso do solo, mapa com as limitações à implantação do duto face às características do meio físico, mapa de aluviões, áreas inundáveis e afloramentos rochosos, avaliação da dinâmica da calha de drenagem para os rios com mais de 100 metros de largura e atualização cartográfica.

Parte das imagens fotográficas utilizadas foram obtidas através de processamento em SITIM das imagens adquiridas em formato digital, que a seguir, foram fotografadas, ampliadas para a escala 1:100.000 e utilizadas para a interpretação.

Os dados interpretados foram transportados para uma base georeferenciada através do SGI, cartografados sobre a base cartográfica do IBGE ou DSG, atualizadas a partir de imagens orbitais.

Juntou-se ainda a esses dados, aqueles obtidos em pesquisa feita junto a órgãos públicos, referentes à linhas de transmissão de energia elétrica, áreas de proteção ambiental, áreas indígenas e áreas em processo de pesquisa ou lavra mineral.

Todo esse conjunto de informações foi agrupado seletivamente de modo a compor cada um dos produtos executados.

Por fim, os produtos cartográficos gerados através do SGI foram convertidos para o padrão

DXF do autocad versão 11, ou seja, compatíveis com o sistema gráfico atualmente utilizado pelo DEIND/SEDUT - PETROBRÁS. Tais produtos são listados na Tabela 1, com a descrição sucinta de seu conteúdo. Todos esses produtos foram produzidos em formato digital e analógico.

Tabela 5 - Produtos cartográficos elaborados

PRODUTOS EXECUTADOS	DESCRIÇÃO DO CONTEÚDO
perfil preliminar	perfil topográfico do traçado preliminar do oleoduto com escala horizontal 1:500.000 e escala vertical 1:5.000
mapa temático grupo I	mapa temático em escala 1:100.000 contendo base cartográfica, declividade, curvas de nível, linhas de transmissão de eletricidade, área urbana e variações de calhas de drenagem
mapa temático grupo II	mapa temático em escala 1:100.000 contendo base cartográfica, aluviões, áreas inundáveis, áreas em processo de pesquisa ou lavra mineral e áreas urbanas com vetores de crescimento
mapa temático grupo III	mapa temático em escala 1:100.000 contendo base cartográfica, área urbana, limitações ao traçado do oleoduto face às características do meio físico e afloramentos rochosos
mapa temático grupo IV	mapa temático em escala 1:100.000 contendo base cartográfica, área urbana, classes de uso do solo (mata, cerrado, reflorestamento, campo/pastagem/área agrícola), áreas de relevância sob o aspecto ambiental e áreas indígenas
carta de traçado	mapa em escala 1:50.000 contendo base cartográfica, curvas de nível, classes de uso do solo, áreas de relevância sob o aspecto ambiental, áreas indígenas e linhas de transmissão
carta-imagem	documento fotográfico obtido a partir de imagens orbitais da área de trabalho, ressaltando-se as cidades, principais rios, estradas e acidentes geográficos, em escala 1:100.000
perfil básico	perfil topográfico do traçado básico do oleoduto com escala horizontal 1:500.000 e escala vertical 1:5.000

Descreve-se a seguir a metodologia utilizada especifica-

mente para as fases de geração de imagens através do SITIM, sua interpretação e a digitalização dos dados em SGI e conversão dos arquivos SGI para DXF.

2.1. Imagens digitais TM-Landsat e processamento em SITIM

Para a interpretação de cada tema específico foi escolhida a banda ou conjunto de bandas (intervalo de comprimento de onda) que melhor refletem as características do tema a ser analisado.

Feita a escolha, as imagens digitais foram tratadas no Sistema de Tratamento de Imagens, o SITIM, aplicando-se a elas, técnicas de realce nas bandas consideradas ideais para a interpretação dos temas específicos.

Para a interpretação de uso do solo foi utilizada a composição colorida 3B, 4R, 5G.

Para a atualização cartográfica e delimitação de áreas urbanas foi utilizada a composição colorida 1B, 2G, 3R.

A banda 4 foi selecionada para a interpretação de aspectos ligados a pedologia, geotecnia e geologia.

Durante a leitura das imagens em fita e gravação dos módulos de estudo, foi aplicada a técnica de realce "ampliação linear de contraste" para cada banda com a expansão do histograma das imagens originais (valores digitais brutos) para toda a escala de níveis de cinza disponível (0-255), efetuando-se a seleção visual da melhor imagem realçada para cada banda.

A partir daí, 3 produtos fotográficos para interpretação foram gerados: um conjunto de imagens na banda 4 e outro em composição colorida 3B 4R 5G, fotografados diretamente da tela e ampliados para a escala 1:100.000 e um conjunto de imagens em composição colorida 1B,

2G, 3R, adquiridos sob a forma de reproduções fotográficas diretamente do INPE, em escala 1:50.000.

2.2. Interpretação de imagens fotográficas

À partir do conjunto de imagens fotográficas em composição colorida 3B, 4R, 5G, escala 1:100.000, foram interpretados os temas relativos ao uso do solo, identificando as classes: mata, cerrado, reflorestamento e área agrícola/pastagem/campo.

Sobre as imagens de banda 4, foram identificadas as áreas de afloramentos rochosos, áreas com sedimento inconsolidados (aluviões), áreas de inundação permanente (planície de inundação atual), áreas de inundação intermitente (planície de inundação recente) e também realizada a interpretação quanto às limitações do meio físico à instalação do duto, considerando-se aqui fatores de resistência à erosão, infiltração, fraturamento, espessura do manto de alteração, declividade das encostas e tipo de vertentes, principalmente..

Sobre as imagens em composição colorida 1B, 2G, 3R, escala 1:50.000, datadas de 1991/92, foi feita a atualização cartográfica para a malha viária e drenagem. Para tanto, a base cartográfica do IBGE/DSG escala 1:100.000, que data em muitos casos de 20 anos atrás, foi digitalizada através do SGI e plotada em papel poliéster na escala 1:50.000. Sobre essa base cartográfica foi feita a interpretação dos temas relativos à malha viária, drenagem e áreas urbanas, efetuando-se a sua respectiva atualização.

A avaliação da dinâmica da calha dos rios com mais de 100 metros de largura foi feita analisando seu traçado em 3 datas distintas: em 1964/67 sobre fotografias aéreas do AST-10/USAF e em 1984 e

1991/92 sobre imagens fotográficas TM/Landsat, composição 1B 2G 3R, escala 1:50.000.

2.3. Digitalização

A entrada de dados no sistema geográfico de informações foi feita de maneira a facilitar a transferência dos arquivos para o padrão DXF do sistema autocad em fase posterior, onde os dados deveriam configurar cartas temáticas abrangendo cada uma, 100 Km na linha do traçado preliminar do duto e ainda cartas de traçado, abrangendo cada uma, 50 Km da mesma linha do duto.

O agrupamento seletivo de determinados planos de informação deu origem a cada um dos documentos cartográficos já descritos na Tabela 1.

Outra característica particular respeitada foi a de cartografar os dados de modo que as linhas limite da região de estudo em todos os 820 Km de extensão mantivessem direção leste-oeste, paralelas à borda inferior do mapa. Isso exigiu que a entrada de dados em SGI fosse feita em projetos seccionados a cada 100 Km e nos pontos de inflexão nas linhas dos limites laterais da área de estudo.

Também através de função específica do SGI e à partir das curvas de nível digitalizadas, foi gerado o modelo digital do terreno, que é a reprodução tridimensional do relevo. Sobre o MDT (modelo digital do terreno) foram gerados os perfis topográficos nas linhas do traçado preliminar e básico do duto com escala horizontal 1:500.000 e escala vertical 1:5.000.

2.4. Conversão de arquivos SGI/DXF e geração dos mapas temáticos, mapas de traçado e perfis topográficos

Os dados contidos nos planos de informação dos projetos definidos no SGI foram convertidos para o formato DXF, no ambiente autocad, seletivamente, de maneira a compor cada um dos quatro grupos das cartas temáticas em escala 1:100.000.

Cada um desses documentos, ou seja, cada carta temática dos grupos I, II, III ou IV, abrange um trecho de 100 Km no traçado preliminar do oleoduto, partindo da Base de Goiânia da Petrobrás.

Após a transferência para o ambiente autocad, os arquivos foram rotacionados de modo que as linhas laterais da área de trabalho se mantivessem na direção leste-oeste.

A cada nível ou "layer" no autocad foi correlacionada uma espessura e cor para a saída em plotadora gráfica. A legenda e moldura das cartas foram elaboradas diretamente no ambiente autocad.

As cartas de traçado em escala 1:50.000, obedeceram a mesma sistemática de execução, porém, tiveram seus arquivos originais seccionados para perfazer em cada documento, trechos de 50 Km no traçado preliminar do oleoduto.

Do mesmo modo, os perfis topográficos dos traçados básico e preliminar, gerados em SGI, foram transferidos para o ambiente autocad e plotados, originando mais dois documentos cartográficos.

2.5. Carta imagem

Sobre as imagens TM, composição colorida 1B, 2G, 3R, escala 1:50.000 foram identificadas as cidades, pistas de pouso, principais rios, estradas, acidentes geográficos e o traçado básico do oleoduto para toda a região de estudo.

Essas imagens foram fotografadas e reproduzidas na escala

1:100.000, compondo as cartas imagem para toda a região.

3. Resultados obtidos

Os resultados obtidos neste trabalho constituíram-se dos produtos finais executados.

Como produtos finais têm-se as cartas temáticas, cartas de traçado, cartas imagem e perfis topográficos preliminar e básico.

3.1. Perfis preliminar e básico

Para elaboração dos perfis foi gerada uma grade em 3 dimensões no SGI, a partir das isolinhas digitalizadas das cartas topográficas. A grade regular foi gerada com 250 metros de resolução, o que equivale dizer que na escala 1:100.000 (escala de definição dos projetos SGI), tem-se um ponto amostrado no terreno a cada 250 metros. Essa grade, posteriormente, foi refinada para a resolução de 100 metros, sobre a qual foram gerados os perfis.

A cartografia dos perfis básico e preliminar foi feita em escala vertical 1:5.000 e escala horizontal 1:500.000, com a relação escala vertical/escala horizontal de 1/100. Isso resultou em uma angularidade geralmente aguda nas linhas dos perfis, muito embora a resolução da grade fosse bastante adequada.

3.2. Carta temática do grupo I

Esse grupo de cartas temáticas, assim como todos os outros grupos, contou com a base cartográfica do IBGE/DSG, atualizada para a malha viária e drenagem, através de imagens TM/Landsat. Muitas estradas constantes nas cartas topográficas com o "alinhamento aproximado", tiveram seu traçado exato registrado.

Os dados de declividade, registrados nesse grupo I, para os intervalos de 0° a 20°, 20° a 30° e maior que 30°, evidenciaram os diferentes padrões da topografia, como fatores adequados ou restritivos para a implantação do oleoduto.

Também as linhas de transmissão de eletricidade e respectivas tensões existentes na região de estudo foram aqui cartografadas.

Ainda no Grupo I, foram apresentadas as curvas de nível e as posições das calhas de drenagem verificadas nos anos de 1964/67, 1984 e 1991/92, para os rios onde detectou-se a variação.

3.3. Carta temática do grupo II

Nesse grupo foram cartografadas as áreas de aluvião (ou sedimentos inconsolidados), presentes via de regra, junto aos rios de grande porte e, com menor frequência, junto à drenagens menores.

Também foram registradas aqui, as áreas inundáveis, caracterizadas sob os títulos de "planície de inundação atual" e "planície de inundação recente".

As planícies de inundação atual são áreas de inundação ou umidade permanente. Estão associadas a zonas aluvionares de grande porte e podem estar sob inundação periódica ou contínua, porém, mantêm-se úmidas durante todo o ano. Aí podem ser encontradas argilas expansivas e não expansivas, associadas ao material aluvionar fino.

Nas planícies de inundação recentes a inundação é eventual e ocorre apenas em período de grande cheias (evento chuvoso anômalo). Estas planícies cobrem áreas amplas às margens dos rios de maior porte e somente permanecem úmidas no período chuvoso (recorrências de chuvas), após o que, são rapidamente drenadas e secas. O ma-

terial encontrado nestas áreas é mais intemperizado, com menores problemas de expansão/contração devido a própria evolução dos colóides argilosos.

Nas cartas temáticas do grupo II, foram também cartografadas as áreas urbanas extraídas das imagens recentes (1991/1992). Seus vetores de crescimento foram analisados comparando-se a mancha urbana atual com a mancha em 1984 em imagens orbitais e em 1964/67 nas cartas topográficas.

Verificou-se que os núcleos urbanos aumentaram sua área, sem exceção. A cidade de Goiânia teve um notável crescimento, expandindo-se em todos os sentidos.

Também estão cartografadas nesse grupo, as áreas com alvará de pesquisa e lavra obtidos junto ao DNPM até 02.09.92, data em que foi efetuada a pesquisa junto a esse órgão.

3.4. Carta temática do grupo III

Nesse grupo foram cartografados os afloramentos rochosos onde os contatos geológicos são aflorantes. Foram diferenciados os afloramentos de rochas sedimentares dos afloramentos de rochas ígneas/metamórficas.

Não foi possível definir o tipo litológico predominante. De forma geral, as rochas ígneas correspondem a diques e derrames básicos e ultrabásicos. Nas rochas metamórficas predominam materiais xistosos (quartzo xisto), quartzitos recristalizados e cataclasitos de origem quartzo fedspática (gnaisses e granitos). Nas áreas de rochas sedimentares predominam arenitos e metarenitos do Grupo Furnas com poucos níveis de material lamítico (siltes e argilas). As áreas sedimentares apresentam-se em algumas regiões, cobertas por uma carapaça ferruginosa que

pode ser classificadas como crosta laterítica.

Nas cartas temáticas do grupo III, têm-se também a classificação dos terrenos segundo seu grau de limitação à implantação do oleoduto, baseado em estudo de fatores que caracterizam a área geotecnicamente.

Analisados os fatores resistência à erosão, infiltração, fraturamento, tropia, manto de alteração, chegou-se a seguinte classificação dos terrenos, com relação às suas limitações à implantação do oleoduto:

a) sem limitação

Nestas áreas a cobertura de alteração intempérica é muito espessa (mais de 1,5 m), têm-se declividades menores que 8%, a infiltração é geralmente muito alta. As vertentes encontradas são convexas e a erodibilidade é média a alta. O grau de expansão e contração é praticamente nulo, o grau de consolidação é muito baixo (exceto nas áreas com lateritas), a ruptibilidade é baixa e o manto rochoso encontra-se muito profundo. Considerando tais características e observando técnicas adequadas, a implantação do duto deverá ocorrer de forma segura e tranquila.

b) baixa limitação

Para estas áreas, a instalação do projeto deverá considerar a existência de uma cobertura intempérica de espessura entre 0.75 m e 1,5 m, declividade entre 8% e 15%, uma infiltração alta a moderada, um grau moderado a alto de expansão e contração de argilas, grau de consolidação mediana com desagregação diferenciada. As vertentes aqui são côncavas/convexas, a erodibilidade média, a ruptibilidade média (10% a 50% da área é

fraturada) e o manto rochoso está à média profundidade. Na implantação do duto poderão ocorrer pequenos problemas com fácil resolução no campo, tais como recomposição de drenagens superficiais, cobertura vegetal, etc.

c) média limitação

Considera-se aqui uma cobertura de alteração intempérica pouco espessa (menor que 0.75 m), declividades maiores que 15%, infiltração baixa, vertentes côncavas e grau de expansão/contração de argilas alto a moderado. O grau de consolidação é variável, com erodibilidade baixa e ruptibilidade alta (mais de 50% da área é fraturada) encontrando-se o manto rochoso pouco profundo e alterado.

Na implantação do duto poderão ocorrer problemas cuja solução dar-se-á ainda no campo, mediante execução de pequenos projetos, tais como drenagens profundas, contenções, etc.

d) alta limitação

Foram consideradas áreas com alta limitação, aquelas em que ocorrem processos erosivos efetivos, como vossorocas, ravinamentos, erosão laminar, incisões, etc. Essas áreas estão, geralmente, controladas por um sistema de fraturas com duas direções predominantes que provocam anfiteatros ou gargantas orientadas no caso de vossorocas. Para tais casos, deve-se evitar cortar transversal ou ortogonalmente o eixo maior das vossorocas existentes, pois não há condições de estabilidade nestas direções devido a forte incisão vertical que as águas superficiais provocam (enchurradas).

Para estas áreas poderão ocorrer problemas ou restrições à passagem do duto que deverão merecer estudos ou projetos específicos que irão demandar maiores dispêndios, tais como contenções e drenagens especiais, suportes especiais, passagens aéreas, etc).

3.5. Carta temática do grupo IV

Esse grupo apresenta as áreas indígenas e áreas de relevância sob o aspecto ambiental, sejam elas parques, reservas, ou áreas de proteção ambiental, legalizadas ou em processo de implantação e/ou legalização.

Apresenta também as áreas interpretadas para as classes de uso do solo, a saber: mata, reflorestamento, cerrado, campo/área agrícola/ pastagem.

A classe cerrado apresenta, via de regra, variação na densidade de biomassa, na porcentagem de cobertura do solo e na estratificação quanto ao porte (arbóreo-herbáceo). Assim, um cerrado denso, pode ser confundido com a classe mata e um cerrado ralo pode ser confundido com a classe pastagem e/ou área agrícola, dadas as características do sistema sensor (resolução espacial de 30m x 30m) e a escala de observação nas imagens (1:100.000).

3.6. Carta de traçado

Essas cartas constituem-se da seleção de temas advindos dos diferentes grupos de cartas temáticas, cartografados na escala 1:50.000, como uso dos solos, áreas urbanas, malha viária, drenagem, linhas de transmissão de energia elétrica, áreas indígenas e áreas de proteção ambiental, acrescentadas das curvas de nível e pontos identificáveis no terreno.

3.7. Carta imagem

As cartas imagens constituem-se de reproduções fotográficas de imagens TM/Landsat na composição colorida 1B, 2G, 3R, escala 1:100.000, na qual foram realçadas e toponimizadas as estradas, cidades, rios, acidentes geográficos, linhas de transmissão, inserindo-se também o traçado básico do oleoduto.

relevo acidentado ou densa cobertura vegetal impeçam a boa visualização dos elementos na imagem.

4. Conclusões e recomendações

Com base nos dados obtidos no decorrer dos trabalhos, algumas conclusões e recomendações são expostas a seguir:

- O uso de imagens orbitais para o mapeamento de dados como subsídio à implantação de projetos de engenharia vem direcionar a tomada de decisões, agilizar estudos de adequação e diminuir custos de planejamento.
- A cartografia de uso do solo e demais dados, tal como foi realizada, vem facilitar e agilizar a futura execução do Estudo de Impacto Ambiental e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) e dos estudos de Análise de Riscos (AR), necessários ao licenciamento do projeto e sua implantação junto aos Órgãos Ambientais (OAs) envolvidos no traçado do duto.
- Devido à grande defasagem de informações existentes nas cartas topográficas do IBGE e DSG, datadas de 20 anos atrás, recomenda-se que a malha viária e mesmo a drenagem sejam extraídas diretamente da imagem TM/Landsat em data recente. A cartografia convencional seria ainda utilizada para a extração de toponímia e classificação das estradas e ainda como auxílio para locais onde o