



Acta Scientiarum. Technology

ISSN: 1806-2563

eduem@uem.br

Universidade Estadual de Maringá
Brasil

Mercante, Erivelto; Gonçalves Antunes, João Francisco
Simulação de trajetos de um gasoduto integrando dados de sensoriamento remoto e sistemas de
informação geográfica
Acta Scientiarum. Technology, vol. 32, núm. 2, 2010, pp. 171-178
Universidade Estadual de Maringá
Maringá, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303226526002>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Simulação de trajetos de um gasoduto integrando dados de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica

Erivelto Mercante^{1*} e João Francisco Gonçalves Antunes²

¹Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Universitária, 1619, 85819-110, Cascavel, Paraná, Brasil. ²Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Informática Agropecuária, Brasília, Distrito Federal, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: erivelto@unioeste.br

RESUMO. A utilização de ferramentas de apoio à decisão em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) tem auxiliado em áreas de aplicação como na análise de impacto, aptidão e viabilidade. Este trabalho apresenta um exemplo de aplicação dessas ferramentas para análise de trajeto de um gasoduto interligando uma refinaria a três cidades na região de Campinas, Estado de São Paulo. Como variáveis foram utilizadas as informações contidas em um mapa de uso do solo e um modelo digital do terreno (MDT). O processamento e a análise das informações espaciais foram realizados por meio do SIG IDRISI. Na primeira abordagem usam-se superfícies de custo para determinar o melhor trajeto. O trajeto obtido considerou os valores de menores custos, na maioria áreas de pastagens e com declividade de até 15%. A segunda abordagem baseou-se no método de múltiplos critérios com a ponderação dos fatores distância, declividade e uso do solo. A análise por múltiplos critérios foi bastante influenciada pelo uso do solo. Porém, a declividade e a distância entre as cidades são fatores fundamentais no traçado do gasoduto, pois reflete o menor custo. O trabalho constituiu um subsídio importante para a tomada de decisão sobre a melhor alternativa de traçado do gasoduto, possibilitando uma escolha mais racional e menos subjetiva.

Palavras-chave: gás natural veicular, SIG, tomada de decisão, modelo digital de terreno.

ABSTRACT. **Simulation of a gas pipeline pathway integrating remote sensing data and geographic information systems.** The use of decision support tools in Geographic Information Systems (GIS) has assisted in applications areas such as impact, suitability and viability analysis. This work presents an example of the application of these tools for the analysis of gas pipeline pathway connecting a refinery to three cities in the region of Campinas, São Paulo State. Land use and digital elevation model (DEM) were used as variables. The processing and analysis of spatial information were done using GIS IDRISI. The first approach used a cost surface to determine the least cost route. The pathway obtained considered in the majority areas of pastures and with slope of up to 15%. The second approach was based on multiple criteria analysis balancing factors such as distance, slope and land use. The multiple criteria analysis was influenced by land use; however, the slope and the distance between the cities are the basic factors in tracing the pathway, reflecting the lowest cost. This result constitutes an important subsidy for decisions on the best alternative for gas pipeline pathway, allowing a more rational and less subjective choice.

Key words: natural gas vehicle, GIS, decision making, digital elevation model.

Introdução

O gás natural é uma fonte de energia limpa, econômica e segura, cada vez mais presente em residências, transportes e indústrias. Sua utilização vem substituindo principalmente os combustíveis tradicionais, mais poluentes e menos eficientes. Além disso, pode ser usado como combustível para fornecimento de calor, geração de eletricidade e de força motriz, como matéria-prima nas indústrias siderúrgica, química, petroquímica e de fertilizantes. Tais fatores permitem a utilização quase irrestrita do

produto em vários segmentos, atendendo as determinações ambientais e contribuindo de forma eficaz e eficiente na obtenção de segurança e qualidade nas diversas formas de utilização do gás.

No Brasil, após a construção do gasoduto Bolívia-Brasil, o gás natural, com o tempo, deve se tornar um combustível mais utilizado, aumentando sua participação na matriz energética nacional. Como resultado, sistemas de transporte têm sido instalados para distribuição do gás.

A produção de gás natural em 2008 no Brasil foi

recorde, dando um salto de 17,76% em relação a 2007, totalizando média de 51,073 milhões de m³ dia⁻¹. A Petrobras comunicou que as reservas provadas da empresa no Brasil, segundo as normas da Agência Nacional do Petróleo (ANP), somam 14,093 bilhões de barris de petróleo e gás natural. Isso representa incremento de 1,2% sobre o volume constatado em 2007. Em gás natural, as reservas da companhia totalizam 337,6 bilhões de m³ (JORNAL DO BRASIL, 2009).

A expansão do consumo do Gás Natural Veicular (GNV) no Brasil superou todas as expectativas do setor. Em 1991 eram 7 mil m³ dia⁻¹ ultrapassando os mais de 2 milhões de m³ dia⁻¹ já no primeiro trimestre de 2002 (CANTALICE, 2004). Atualmente, o volume de GNV consumido alcança em torno dos 6,5 milhões de m³ dia⁻¹ (GASNET, 2009).

A utilização do GNV decorre simultaneamente da disponibilidade do gás natural, da existência de postos de abastecimento e de veículos adaptados ao seu uso. No final de 2008, no Brasil mais de 1,5 milhões de veículos já utilizavam o gás natural, tendo um incremento médio mensal de 7,6 mil veículos sendo convertidos, representando somente 4,4% da frota total. Nos 19 Estados atendidos mais o Distrito Federal, a quantidade de postos de abastecimento já supera 1.600 (GASNET, 2009).

As distribuidoras estaduais estão aumentando as suas redes de distribuição. Com a massificação do gás, a Petrobras prevê a necessidade de grande expansão na rede metropolitana de gás canalizado do país. Atualmente, a Refinaria de Paulínia - Replan serve como ponto de conexão com o gasoduto Bolívia-Brasil. Dessa forma, surge a necessidade de as cidades da região se interligarem à rede de distribuição da Replan.

Em contrapartida, a expansão das redes de distribuição pode acarretar danos ambientais e sociais significativos como desmatamento de áreas de preservação e alteração no hábitat de pessoas e animais, causados pelas construções dos dutos de gás natural, quando não levadas em conta características relevantes como as análises de impacto, aptidão e viabilidade de projetos deste porte.

Nos últimos anos, as demandas por informações oportunas e exatas aumentaram nas mais diversas áreas de pesquisa, incluindo planejamento urbano e regional, gerência de recursos naturais, agricultura e exploração geológica. Uma ferramenta que está amplamente vinculada a essas demandas são os SIGs, os quais permitem o armazenamento, processamento e recuperação de informações, possibilitando a integração com dados digitais de sensoriamento remoto.

Segundo Silva (1999), o uso de SIG em problemas de tomada de decisão é uma ferramenta poderosa e eficiente nas diversas áreas do conhecimento, pois possibilita que o processo seja realizado de maneira mais fundamentada. Nessa situação, o agente de decisão tem à sua disposição dados e informações mais acessíveis, mais facilmente combinados e modificados, além de utilizar argumentos mais claros para a decisão.

Em um trabalho de análise do trajeto de um oleoduto na Rússia, Feldman et al. (1995) utilizaram dados de sensoriamento remoto de imagens Landsat e extraíram mapas topográficos em conjunto com um SIG, para determinar o trajeto de menor custo de um eventual oleoduto. Nas análises realizadas ficaram evidentes os benefícios da integração dos dados de sensoriamento remoto com as rotinas de um SIG, como uma primeira visão do trajeto do oleoduto. Concluíram que essas técnicas, quando utilizadas em conjunto com a ampla experiência de campo do pessoal técnico das empresas de construção de oleodutos, podem fornecer resultados com o máximo de benefícios.

Kirchhoff (2004) utilizou SIG na escolha de alternativas para localização do traçado de gasoduto com maior viabilidade ambiental, usando como critério fundamental o risco associado à ocorrência de acidentes. Levou-se em consideração a procura pela determinação da aptidão apresentada pelo território frente à implantação do gasoduto, a fim de identificar trechos considerados críticos no traçado. Para isso, a ferramenta MCE foi utilizada com o objetivo de hierarquizar os critérios adotados, priorizando a passagem em um ou outro local, determinando a aptidão de cada parcela do território para receber o empreendimento. Concluiu que o uso desta ferramenta serviu como instrumento para tomadas de decisões mais racionais e efetivas, tornando-a de suma importância na verificação da viabilidade ambiental de um empreendimento.

Outros autores também usaram SIG para estudos com trajetos de gasodutos e oleodutos, desde sua extração e transporte (ANDREEV et al., 1998; DEY, 2002), bem como para as avaliações de danos e riscos de rompimento em tubulações já existentes (CHEN et al., 2002; DEWOLF, 2003; TORRES-VERA; CANAS, 2003).

O uso integrado de dados de sensoriamento remoto em SIG torna-se um ferramental poderoso para oferecer suporte à tomada de decisão. Destaca-se a potencialidade de uso do Modelo Digital de Terreno (MDT) obtido dos dados da Shuttle Radar Topography Mission - SRTM (NASA, 2004). A integração do MDT com SIG pode originar diversas

aplicações em áreas tradicionais como engenharia civil, arquitetura, hidrologia e, as mais recentes, planejamento e análise dos impactos ambientais dos projetos.

A SRTM é resultado de uma missão espacial da NASA (National Aeronautics and Space Administration), GAC (German Aerospace Center) e ISA (Italian Space Agency) realizada a bordo do ônibus espacial Endeavour equipado com um radar interferométrico de abertura sintética. Durante 11 dias em fevereiro de 2000, foram geradas imagens e produzidos MDTs com resolução aproximada de 30 x 30 m por pixel, e o valor absoluto do nível de cinza do pixel representa a altitude, em metros, relativa ao datum WGS-84. Esta pesquisa teve como objetivo examinar a superfície terrestre, oceanos, atmosfera, gelo e vida como um sistema integrado usando a interferometria (RABUS et al., 2003).

Para Kidner e Smith (2003), os problemas da atualidade requerem soluções interdisciplinares e integradas que combinem os vários aspectos influenciadores dos fenômenos em estudo. Para Ryder (1987), os fatores técnicos e as considerações ambientais são as variáveis que mais influenciam na seleção de trajetos de gasodutos e oleodutos, somados às exigências do próprio projeto. Segundo Malczewski (1999), a utilização de SIGs com métodos de decisão por multicritério, por meio da combinação de suas técnicas e procedimentos, pode ser a solução para muitos problemas de planejamento e gerenciamento do mundo real.

Sob esta ótica, o presente trabalho tem como objetivo exemplificar possíveis análises para trajetos do gasoduto interligando a Replan às cidades de Cosmópolis, Americana e Artur Nogueira, utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIG), de modo a obter subsídios importantes para a tomada de decisão sobre a melhor alternativa de passagem do gasoduto, possibilitando uma escolha mais racional e menos subjetiva.

Material e métodos

Os dados de sensoriamento remoto empregados no desenvolvimento do trabalho foram uma imagem do satélite Landsat 7 e o MDT, produtos utilizados principalmente por serem de fácil aquisição via internet e por não apresentarem nenhum custo na aquisição.

Foi utilizado um triplete RGB das bandas 453 do sensor ETM⁺, adquirido em agosto de 2001, com órbita ponto 220/076, conforme Figura 1. O MDT foi obtido a partir dos dados da SRTM. O SIG utilizado foi o IDRISI 32, que oferece um bom conjunto de ferramentas para a análise e suporte para tomada de decisões (EASTMAN, 1999).

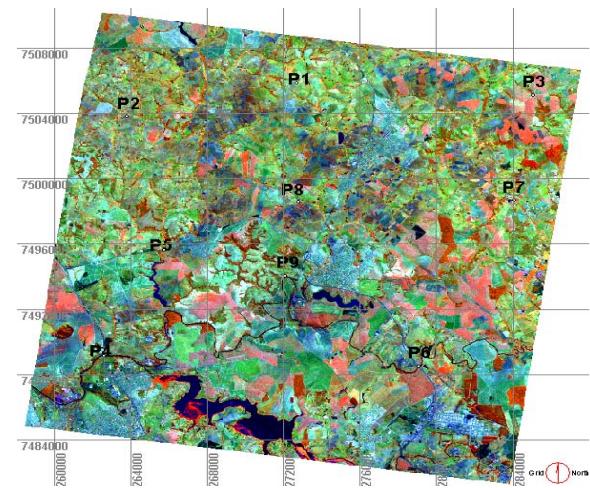


Figura 1. Triplete RGB das bandas 453 do sensor ETM⁺.

Para adequação do material disponível, inicialmente foi necessário proceder ao registro da imagem Landsat. Para isso foram utilizados nove pontos de controle, coletados a partir das cartas topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na escala 1:50.000, no sistema de coordenadas UTM 23 Sul, referentes à região em estudo. O erro médio de registro do georreferenciamento foi de 10,32 m, aceitável para a resolução espacial da imagem, pois ficou abaixo de um pixel.

Posteriormente, foi realizado o mapeamento de uso do solo, pelo método de interpretação visual, com base em conhecimentos prévios sobre a área de estudo adquiridos após o reconhecimento de campo, onde foram observadas as principais classes de coberturas de solo existentes na região. Foram demarcadas as coordenadas geográficas dos locais visitados por meio de um aparelho GPS de navegação, essas coordenadas foram utilizadas como base para a interpretação visual da imagem. A partir desse reconhecimento, definiram-se 13 classes de uso do solo existentes na área, conforme a Figura 2.

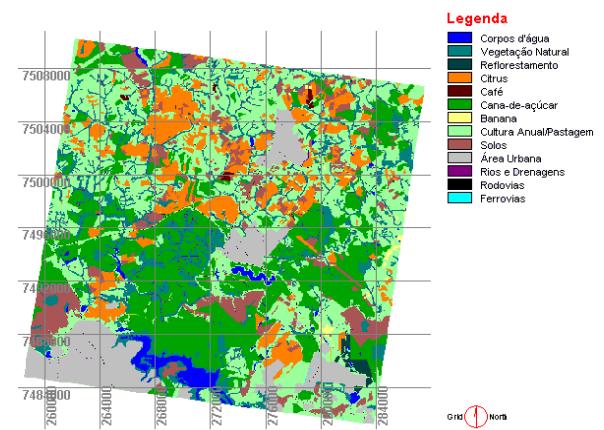


Figura 2. Classes de uso do solo.

Geração do MDT e mapa declividade

Os dados da SRTM foram gerados no sistema de coordenadas lat/long, datum WGS84, com resolução espacial de 90 m. Após a compatibilização com as especificações da imagem Landsat (pixel de 30 m) e correção de falhas provenientes de pixels com valores nulos nos dados da SRTM, foi gerado o MDT, apresentado na Figura 3.

Por meio do MDT, foi possível extrair o mapa de declividade utilizando-se o operador de contexto *SLOPE*. O próximo passo foi definir o intervalo de 5% de declividade entre as classes até o limite de 25%, e áreas com declividades acima desse limite foram consideradas impróprias para a passagem do gasoduto. Para gerar as classes de declividade foi utilizado o comando *RECLASS*, como pode ser visto na Figura 4.

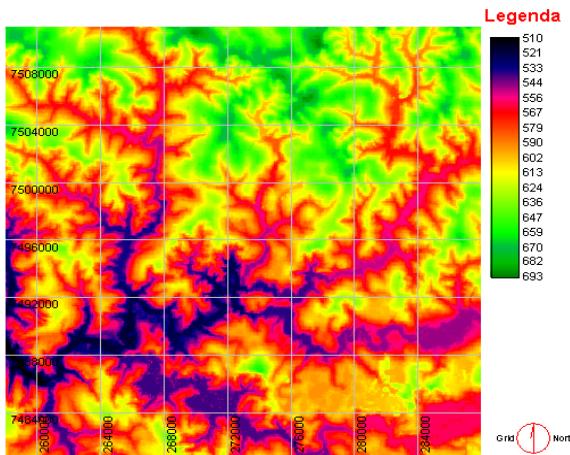


Figura 3. Modelo Digital do Terreno – MDT da área em estudo gerado a partir da imagem SRTM.

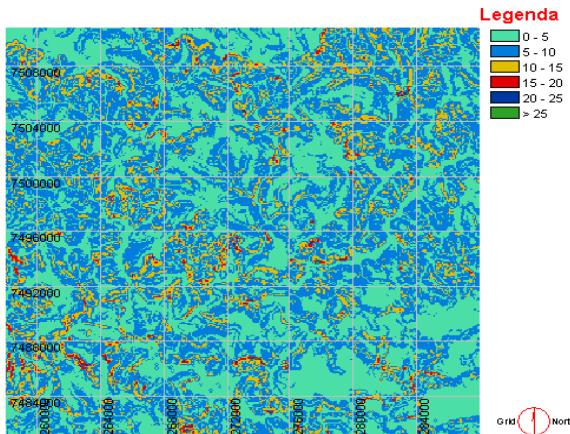


Figura 4. Declividade em classes.

Criação dos mapas de restrições

Com o intuito de causar o mínimo impacto ambiental, foram impostas algumas restrições ao desenvolvimento do trajeto de gasoduto. Sendo assim, uma dessas restrições baseou-se na Lei

4.771/65 do Código Florestal Brasileiro que define a mata ciliar em torno de rios e lagoas como de preservação permanente. Neste trabalho, foram adotados como área de preservação os 100 m ao redor de lagoas e 50 m de rios com extensão de 10 a 50 m, característicos da região em estudo. A partir da imagem de uso do solo foram extraídas as classes rios e lagoas, por meio dos comandos *RECLASS* e *ASSIGN*. Em seguida, foi utilizado o operador de distância *BUFFER* para gerar as áreas de preservação permanente. A imagem das áreas de preservação permanente foi sobreposta ao mapa de uso do solo por meio do comando *OVERLAY* (Figura 5).

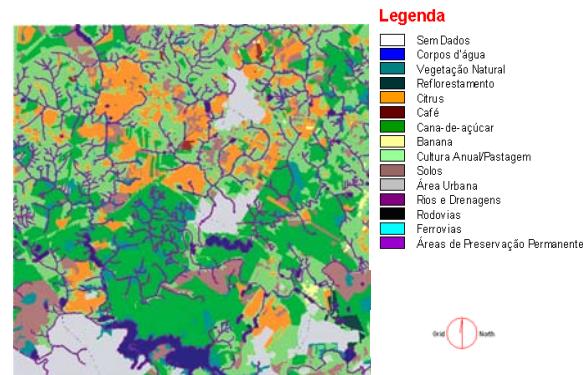


Figura 5. Classes do uso da terra, com a inserção da nova classe de Áreas de Preservação Permanente.

Outra restrição adotada estava relacionada à alocação das subestações de interligação do gasoduto entre as cidades (Figura 6), as quais deveriam ser instaladas num raio de 1.000 m de distância de suas cidades, por questões de segurança em eventuais acidentes. Para separar as áreas urbanas foi utilizado o comando *RECLASS* e *ASSIGN*, baseado no mapa de uso do solo. Após isso, utilizou-se o operador de distância *BUFFER* para criar o raio de 1.000 m em torno das cidades. Decidiu-se por utilizar áreas com declividades menores que 5% para a instalação das subestações, como forma de baratear o custo da terraplanagem do local de instalação. Para classificar essas áreas foram utilizados os comandos *RECLASS* e *ASSIGN* na imagem de declividade. Como forma de causar um mínimo impacto ambiental, as subestações deveriam ser instaladas em áreas fora da faixa de preservação permanente. Para retirar tais faixas foram utilizados os comandos *RECLASS* e *ASSIGN*, classificando apenas as áreas que não possuíam as faixas de preservação permanente.

Além disso, as subestações deveriam ser alocadas em áreas que fossem ocupadas por pastagens com a finalidade de baratear o custo de desapropriação das terras, pois, na região, a principal atividade agrícola são as plantações de cana-de-açúcar e geralmente essas áreas possuem alto valor de mercado atrelado.

As áreas de pastagem foram classificadas por meio dos comandos *RECLASS* e *ASSIGN*, a partir da imagem de uso do solo. Assim, por meio da combinação dessas restrições com o comando *OVERLAY* foram separadas as áreas aptas para a construção das subestações do gasoduto. O ponto exato de alocação (ver pontos, Figura 6) dentro dessas áreas foi selecionado de forma aleatória antes da simulação do traçado.

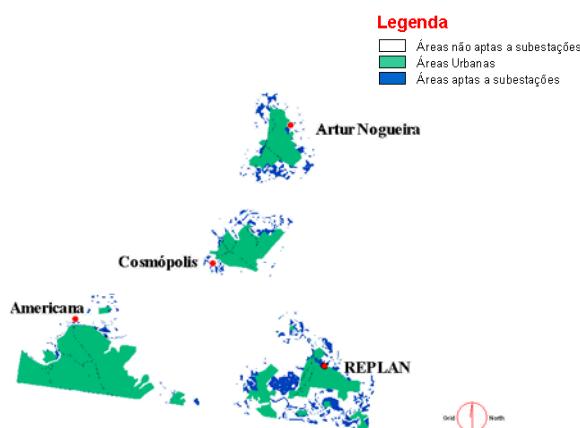


Figura 6. Áreas aptas para alocação das subestações.

Uma vez estruturados os mapas das restrições é necessário desenvolver uma regra de decisão para avaliar as alternativas. Para isso foram criadas superfícies de atrito com os mapas de declividade e de uso do solo, para definir os custos associados com o movimento através do terreno (trajeto onde passará o gasoduto) e das várias classes de uso do solo, respectivamente. O termo custo aqui empregado não representa valores monetários, mas o esforço necessário para transpor cada pixel em função dos valores adotados inicialmente.

Resultados e Discussão

A metodologia para definir o melhor trajeto do gasoduto foi baseada em duas abordagens, ou seja, deseja-se gastar o mínimo de recursos financeiros, em contrapartida, a construção do gasoduto deverá causar o mínimo de impacto ambiental possível.

Na primeira a decisão sobre o melhor trajeto do gasoduto tem caráter eminentemente técnico, ou seja, o trajeto deverá passar onde causa o menor impacto ambiental diante das restrições e das superfícies de atrito pré-estabelecidas.

Para gerar o trajeto do gasoduto baseado na primeira abordagem, inicialmente foi criada uma superfície de atrito com a imagem de declividade. Assumiu-se que custa o valor básico Um (1) para se cruzar um terreno com declividade de 0 a 5%. O gasoduto não deve atravessar áreas com declividade

acima de 25%. Dado o valor base, os valores relativos para a declividade são apresentados na Tabela 1. Classes acima de 25% de declividade receberam um valor de atrito muito alto para evitar que o gasoduto cruze áreas do terreno com essa declividade, pois se entende que o custo de implantação do trajeto nestes locais seria muito alto.

Tabela 1. Valores de atrito para a declividade.

Classes de Declividade (%)	Valores do Atrito
0 a 5	1
5 a 15	2
15 a 25	4
> 25	1000

Uma outra superfície de atrito foi criada com relação ao uso do solo. Assumiu-se que custa o valor básico Um (1) para as classes pastagem e solos. Os valores relativos de atrito para as classes de uso do solo são dados na Tabela 2, sendo escolhidos de forma a tentar minimizar os custos provenientes da instalação do trajeto. As classes área urbana e corpos d'água receberam um valor de atrito extremamente alto para forçar que o gasoduto seja traçado para fora dessas áreas.

Tabela 2. Valores de atrito para as classes de uso do solo.

Classes de Uso do Solo	Valores do Atrito
Pastagem, Solos	1
Reflorestamento	2
Cana-de-açúcar, Banana	2
Citrus	4
Café	5
Vegetação natural	10
Rodovias e Ferrovias	10
Áreas de Mata Ciliar	50
Rios e Drenagens	100
Área urbana	1000
Corpo d'água	1000

Após isso, as duas superfícies de atrito foram combinadas com o comando *OVERLAY*.

Na criação da superfície de custo dos vetores que identificam os locais da refinaria, de Americana e Artur Nogueira, foi necessário transformá-los em imagens *RASTER*, utilizando o comando *POINTRAS*, para poder utilizá-los como imagens. Em seguida, foram então geradas as superfícies de custo por meio do operador de distância *COST*, combinando cada imagem de superfície de atrito com as respectivas imagens dos locais (Refinaria, Americana e Artur Nogueira). A superfície de custo foi calculada a partir da Replan, depois de Americana e por último de Artur Nogueira, todas em direção a Cosmópolis, considerando uma superfície de atrito que representa uma força contrária ao movimento estipulado nessa primeira abordagem.

Na segunda abordagem, utilizou-se a avaliação por múltiplos critérios baseada na ponderação de

fatores (EASTMAN, 1999), como forma de oferecer subsídios importantes para a tomada de decisão sobre as melhores alternativas da passagem do gasoduto. O método de MCE aplicado neste trabalho é o de comparação par a par no contexto do processo de tomada de decisão, denominado AHP (Analytic Hierarchy Process). Para criação da matriz de ponderação, foram selecionados como fatores ponderantes a distância entre as cidades, a declividade do terreno e o uso do solo. A escolha desses três fatores se deu principalmente pela disponibilidade de material para a extração deles.

No primeiro fator, como os locais da possível instalação das subestações de GNV estão próximos às cidades, a hipótese é de que a rota do gasoduto deva ser a menor possível. Para gerar a imagem referente a esse fator, foi utilizado o operador de distância *DISTANCE* a partir da imagem com os pontos das subestações. Para que os maiores valores sejam os mais próximos às cidades, utilizou-se o comando *FUZZY*, com a função linear decrescente, no formato *byte*, padronizando os níveis de 0 a 255.

Para o segundo fator, a declividade, como a imagem existente declividade já foi gerada a partir do MDT, foi necessário somente adequá-la, também utilizando o comando *FUZZY*, com a função linear decrescente, no formato *byte*, padronizando os níveis de 0 a 255.

O terceiro fator é o uso do solo, onde as terras mais aptas à passagem dos dutos possuem os valores mais altos relacionados às classes geradas por interpretação visual. Isto foi feito por meio dos comandos *RECLASS* e *ASSIGN* a partir da imagem de classes de uso do solo. A imagem resultante foi igualmente adequada, utilizando-se o comando *FUZZY* com a função linear decrescente, no formato *byte*, padronizando os níveis de 0 a 255.

Feito isso, o próximo passo foi a geração dos pesos ponderados dos fatores. Para esse julgamento foi utilizada a escala de comparadores de nove pontos criada por Saaty (1977), como pode ser visto na Tabela 3.

A técnica de MCE com AHP baseia-se numa matriz quadrada $n \times n$, em que as linhas e colunas correspondem aos n critérios analisados para o problema em questão. Assim, o valor a_{ij} representa a importância relativa do critério da linha i face ao critério da coluna j . Como esta matriz é recíproca, apenas a metade triangular inferior necessita ser avaliada, já que a outra metade deriva desta e a diagonal principal assume valores iguais a 1. O estabelecimento de comparações par a par para todos os critérios necessita da definição de uma escala, destinada à normalização. A partir da escala da Tabela 3, foi definida então a matriz de ponderação dos pesos por meio da técnica de comparação pareada, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 3. Escala de comparadores dos fatores.

1/9 extremo	1/7 muito forte	1/5 forte	1/3 moderado	1 igual
1 igual	3 moderado	5 forte	7 muito forte	9 extremo

Tabela 4. Matriz de ponderação dos pesos dos fatores.

Fatores	Declividade	Distância	Uso do solo
Declividade	1	3	5
Distância	1/3	1	1/3
Uso do solo	1/5	3	1

Os pesos dos fatores são atribuídos individualmente a cada fator, indicando a importância relativa de cada um em relação aos demais. Após a criação da matriz foi utilizado o comando *WEIGHT* para geração dos pesos de cada fator.

Por fim, as prefeituras podem exigir que o trajeto do gasoduto não atravesse o perímetro urbano das cidades e as lagoas. Então, foi criada uma imagem de restrição por meio dos comandos *RECLASS* e *ASSIGN*, a partir da imagem de uso do solo.

Assim, utilizando o módulo MCE gerou-se uma imagem de aptidão (custo) que relaciona os fatores ponderados mais importantes do ponto de vista técnico (distância e declividade) e ambiental (uso do solo). Os resultados obtidos da ponderação para cada fator estão listados na Tabela 5.

Tabela 5. Pesos ponderados entre os fatores.

Fatores	Pesos
Declividade	0,1047
Distância	0,2583
Uso do solo	0,6370

Como a razão de consistência entre os pesos ponderados dos fatores foi de 0,03, foi considerada boa, pois é menor que 0,10, valor máximo para que a avaliação dos fatores seja realizada de forma aleatória (EASTMAN, 1999).

Com o resultado da ponderação relativa entre os fatores obtidos, foi possível executar a avaliação de múltiplos critérios por meio do comando *MCE*, gerando uma imagem de aptidão. Para realizar o trajeto de passagem do gasoduto foi criada uma superfície de atrito relacionando os fatores ponderados no método de múltiplos critérios. Inicialmente, para adequação no sentido de colocar em escala os valores de atrito da imagem, a mesma então foi classificada em oito classes, em que a classe Um tem o menor valor de atrito e a classe Oito o maior valor de atrito, realizando o procedimento por meio dos comandos *RECLASS* e *ASSIGN*.

O procedimento final foi a geração dos trajetos de menor custo baseado nos dois métodos. Para isso,

utilizou-se o operador de distância *PATHWAY*, o qual gerou a interligação do gasoduto da Replan até a cidade de Cosmópolis, da cidade de Americana a Cosmópolis e da cidade de Artur Nogueira a Cosmópolis, conforme pode ser visualizado na Figura 7. O operador *PATHWAY* busca na superfície de menor custo o trajeto de menor esforço de custo entre os pontos de partida e chegada estabelecidos.

O trajeto obtido com o método de superfície de atrito (amarelo - Figura 7) demonstrou levar em consideração os valores de menores custos, sendo estes, na grande maioria, de áreas de pastagens e com declividade de até 15%, condizente com os menores valores de atritos atribuídos a essas classes.

Para o trajeto desenvolvido pelo método de múltiplos critérios (vermelho - Figura 7), além da preservação ambiental, evidenciada pelo maior peso ao fator uso do solo, procurou-se adotar, também, o trajeto menos extenso e que percorresse áreas mais planas.

Pode-se afirmar que o SIG utilizado comportou-se de forma bastante ágil na geração de cenários de alternativas do trajeto do gasoduto a partir de critérios e fatores pré-estabelecidos, corroborando os resultados encontrados por Feldman et al. (1995) e Montemurro e Barnett (1998) no desenvolvimento dos possíveis trajetos de oleodutos.

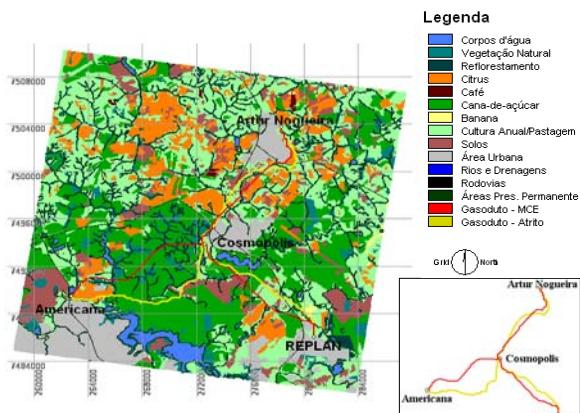


Figura 7. Dois trajetos do gasoduto interligando a REPLAN e as cidades de Cosmópolis, Americana e Artur Nogueira.

Conclusão

No método de superfície de atrito (amarelo escuro), a relevância do uso do solo teve influência direta no trajeto do gasoduto, refletindo a preocupação estritamente técnica que é a preservação ambiental.

Como provavelmente o menor gasto de recursos financeiros seria uma das condições do agente de decisão, outros cenários de alternativas poderiam ser elaborados por meio do SIG IDRISI, alterando-se os valores de atritos tanto para o uso do solo quanto para a declividade.

No método multicritério (vermelho), constatou-se que a análise por múltiplos critérios foi bastante influenciada pelo uso do solo, porém a declividade e a distância entre as cidades são fatores fundamentais no trajeto do gasoduto, pois refletem o menor custo.

As ferramentas de SIG utilizadas neste trabalho dentro dos métodos utilizados constituíram subsídios importantes à tomada de decisão sobre o melhor trajeto do gasoduto, possibilitando uma escolha mais racional do ponto de vista técnico, ambiental e econômico.

O MDT utilizado no trabalho, proveniente dos dados da SRTM, teve alto potencial de utilização. Como sugestão poder-se-ia gerar, para outros cenários de testes, outros mapas de restrições como rede de drenagem, exposição de vertentes e comprimento de rampas.

A incorporação de técnicas de decisão por multicritério para o aprimoramento dos resultados em um ambiente SIG oportunizou alternativas para o melhor trajeto do gasoduto, trazendo benefícios nas avaliações do planejamento da expansão do setor.

Referências

- ANDREEV, G. G.; BOGDANOV, A. B.; DJEMARDIAN, Y. A.; MIKHAILOV, V. I. Aerospace monitoring of lands with plots of oil and gas extraction and oil products transportation. *Advances Space Research*, v. 21, n. 3, p. 513-515, 1998.
- CANTALICE, O. **Consumo de GNV supera expectativas.** Disponível em < <http://www.gasnet.com.br/conteudos.asp?cod=5435&tipo=Artigos&categoria=11> >. Acesso em: 8 nov. 2004.
- CHEN, W. W.; SHIH, B. J.; CHEN, Y. C.; HUNG, J. H.; HWANG, H. H. Seismic response of natural gas and water pipelines in the Ji-Ji earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, v. 22, n. 9-11, p. 1209-1214, 2002.
- DEY, P. K. An integrated assessment model for cross-country pipelines. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 22, n. 6, p. 703-721, 2002.
- DEWOLF, G. B. Process safety management in the pipeline industry: parallels and differences between the pipeline integrity management (IMP) rule of the Office of Pipeline Safety and the PSM/RMP approach for process facilities. *Journal of Hazardous Materials*, v. 104, n. 1-3, p. 169-192, 2003.
- EASTMAN, J. R. **Guide to GIS and image processing - IDRISI 32.** Worcester: Idrisi Production, 1999. v. 2.
- FELDMAN, S. C.; PELLETIER, R. E.; WAKER, E.; SMOOT, J. C.; AHL, D. A prototype for pipeline routing using remotely sensed data and geographic information system analysis. *Remote Sensing of Environment*, v. 53, n. 2, p. 123-131, 1995.
- GASNET. **GNV - Indicadores.** Disponível em: <<http://www.gasnet.com.br>>. Acesso em: 26 jan. 2009.
- JORNAL DO BRASIL. **Petrobras bate recorde de**

- produção em 2008.** Disponível em: <<http://www.gasnet.com.br>>. Acesso em: 26 jan. 2009.
- KIDNER, D. B.; SMITH, D. H. Advances in the data compression of digital elevation models. **Computers and Geosciences**, v. 29, n. 8, p. 985-1002, 2003.
- KIRCHHOFF, D. **Avaliação de risco ambiental e o processo de licenciamento:** o caso do gasoduto de distribuição gás brasileiro trecho São Carlos Porto Ferreira. 2004. 189f. Dissertação (Mestrado em Engenharia)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.
- MALCZEWSKI, J. **GIS and multicriteria decision analysis.** New York: John Wiley and Sons, 1999.
- MONTEMURRO, D.; BARNETT, S. GIS-based process helps Trans Canada select best route for expansion line. **Journal Gas and Oil**, v. 96, n. 25, p. 102-115, 1998.
- NASA-National Aeronautics and Space Administration. **Shuttle radar topography mission.** Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>>. Acesso em: 8 nov. 2004.
- RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, A.; BAMLER, R. The shuttle radar topography mission a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **ISPRS** **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 57, n. 4, p. 241-262, 2003.
- RYDER, A. Pipeline routeing - experiences from Northern Scotland. **Pipes Pipelines International**, v. 27, n. 39, p. 5-14, 1987.
- SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal Mathematics and Psychology**, v. 15, n. 1, p. 234-281, 1977.
- SILVA, A. B. **Sistemas de informações georeferenciadas:** conceitos e fundamentos. Campinas: Unicamp, 1999.
- TORRES-VERA, M. A.; CANAS, A. Alifeline vulnerability study in Barcelona, Spain. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 80, n. 2, p. 205-210, 2003.

Received on March 12, 2008.

Accepted on March 17, 2009.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.