

## Traçado de Rotas de Menor Custo a partir de uma Mineração Através de Geoprocessamento

Jorge Luiz Barbosa da Silva<sup>1</sup>  
Ricardo Norberto Ayup Zouain<sup>2</sup>  
Ronaldo dos Santos da Rocha<sup>3</sup>

<sup>1</sup> UFRGS - IG - Departamento de Geodésia  
CEP 91501-970 - CP 15001 - Porto Alegre, RS  
[jlbs@if.ufrgs.br](mailto:jlbs@if.ufrgs.br)

<sup>2</sup> UFRGS - IG - Departamento de Geodésia  
CEP 91501-970 - CP 15001 - Porto Alegre, RS  
[ricardo.ayup@ufrgs.br](mailto:ricardo.ayup@ufrgs.br)

<sup>3</sup> UFRGS - IG - Departamento de Geodésia  
CEP 91501-970 - CP 15001 - Porto Alegre, RS  
[ronaldo.rocha@ufrgs.br](mailto:ronaldo.rocha@ufrgs.br)

**Resumo:** O objetivo deste trabalho é definir o traçado de rotas de menor custo a partir de uma mina de carvão, situada na região central do Estado do Rio Grande do Sul. Foram estabelecidas duas rotas diferentes. A primeira vai da mina até uma estrada rodoviária nas proximidade da mesma. E a segunda é da mina até um pequeno porto situado no Rio Jacuí. O plano de informação básico para este estudo é o mapa temático de uso e cobertura do solo da região envolvente da mineração. Este mapa temático foi elaborado a partir de imagens Landsat 5 TM as quais foram classificadas e sofreram processos de manipulação, sendo o resultado verificado no campo. Para a escolha das rotas de menor custo foi criada uma imagem de atrito, de forma dimensionar o grau de dificuldade da rota passar por uma determinada classe de uso e cobertura do solo. A ponderação atribuída às diferentes classes foi o fator principal para a escolha do melhor trajeto.

**Abstract:** The objective of this paper is to determine the least cost route between a coal mine and two different target points. The mine is located in central region of Rio Grande do Sul State. One of terminal point to the route is a highway and the other is a small harbor at Jacuí River. The basic principal layer for this study is the land use and cover thematic map around mine. It comes from Landsat 5 TM images that was classified and received mathematical operations. The final image with six classes was validated by a field verification. To choose the best route it was generated a cost surface from land use and cover classes where distance is measured as the least effort in moving over a friction surface. The weights assigned to land use and cover were the principal factors to choose the best route.

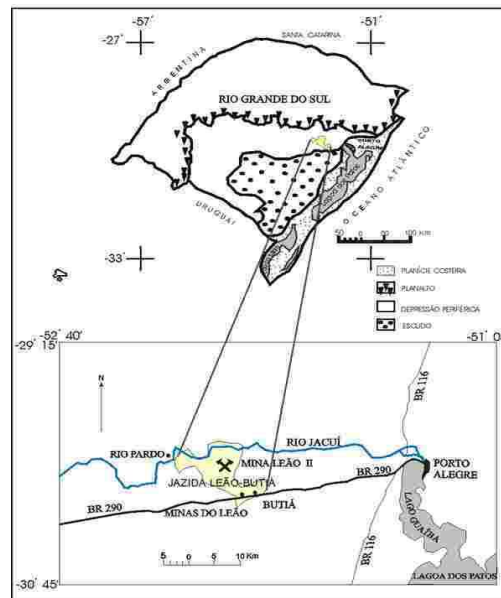
**Keywords:** mining, geoprocessing, route

### 1. Introdução

O material extraído da mineração de carvão, após os processos de beneficiamento, necessita ser transportado, desde a mina até aos locais de uso do produto, seja na indústria, ou seja para a geração de energia em usinas termoeletricas. Desta forma este trabalho visa determinar as rotas de menor custo a partir da mineração. Escolhemos duas possibilidades de rota. Uma rota é desde a mina até a BR 290, estrada asfaltada situada mais próxima da mineração, e a outra rota é desde a mineração até um pequeno porto situado no Rio Jacuí. Esta abordagem é hipotética, pois até o presente momento ainda não foi extraído carvão da mina Leão II.

## 1.2 Localização

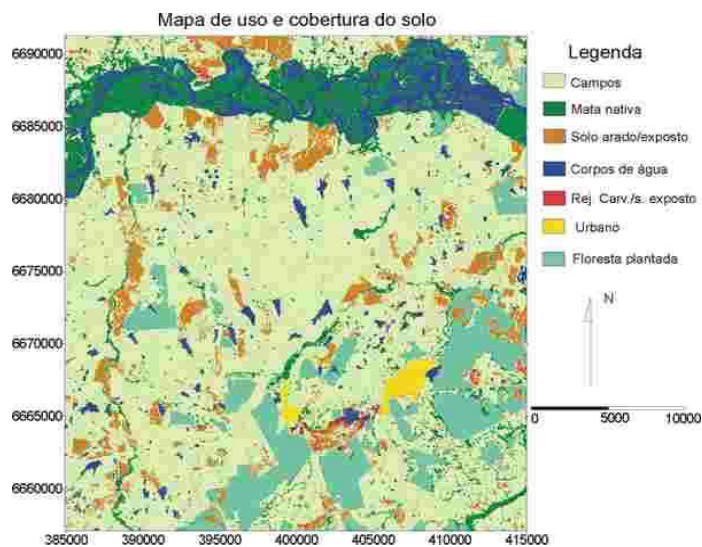
A região de estudo se localiza no município de Minas do Leão, situada na depressão periférica do Estado do Rio Grande do Sul, figura 1, na denominada região carbonífera, distando aproximadamente 100 quilômetros de Porto Alegre.



**Figura 1:** Mapa de localização da região de estudo

## 2. Metodologia

O base do desenvolvimento deste estudo está fundamentado no mapa de uso e cobertura do solo (figura 2). Este mapa de uso e cobertura do solo foi originado a partir de imagens Landsat 5 TM das bandas 3, 4 e 5. Com estas três imagens foi realizada uma composição colorida. E nesta imagem composta foi elaborada uma classificação não supervisionada, pelo método da maxiverossimilhança. Através de operações matemáticas com as imagens concluímos o mapa final, contando anteriormente com as verificações de campo.



**Figura 2:** Mapa de uso e cobertura do solo do local de estudo

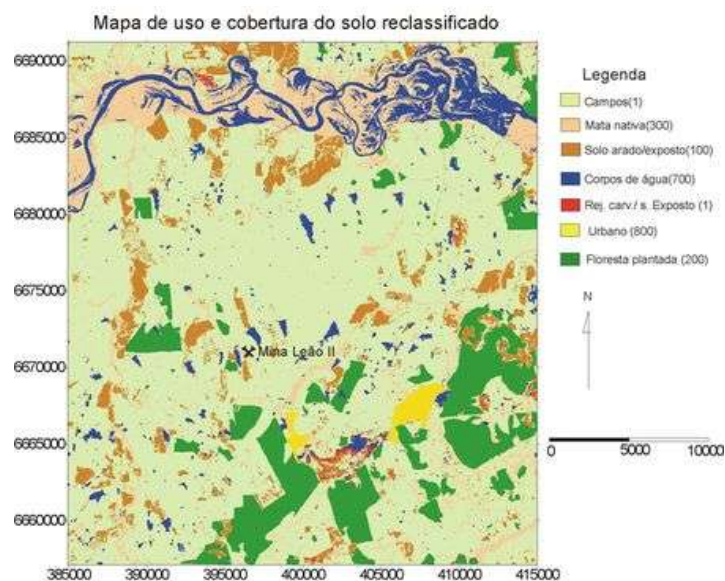
A etapa seguinte é modificar a imagem de cobertura e uso do solo em função do nosso objetivo final. Para este propósito, supõem-se que exista um custo básico para construir uma via atravessando terrenos cobertos por campos. Portanto, a classe campos foi adotada como nosso referencial. Neste sentido atribuiu-se valor 1 para a classe campos, e relativamente atribuímos 300 para mata nativa, 100 para solo arado/exposto, 700 para corpos de água, 1 para rejeitos de carvão/solo exposto, 800 para urbano e 200 para floresta plantada. Dado esse custo básico, a tabela 1 mostra os outros custos relativos de construção da via de transporte com a respectiva descrição. Estes números estão relacionados às dificuldades para se criar uma via passando pelas diferentes classes temáticas. São considerados fatores tais como: custo da construção, custo das benfeitoria existentes e proteção ambiental.

**Tabela 1** - Uso e cobertura do solo modificada como superfície de atrito

Uso e Cobertura	Atrito	Descrição
Campos	1	Custo básico
Mata nativa	300	Proteção ambiental
Solo arado	100	Culturas agrícolas
Corpos de água	700	Difícil construção
Rejeitos	1	Custo básico
Urbano	800	Barreira. Evitar a cidade
Floresta	200	Importância comercial

Valores altos de atrito representam barreiras, mas a via não está proibida a passar por estes locais, apenas haverá uma tendência de evitar estas regiões, porque seu “custo” é elevado. Definidos os valores de atrito conforme a tabela 1, passou-se para a para a realização da operação digital de reclassificação da imagem de uso e cobertura do solo através do comando RECLASS do Idrisi, (Estman, 1998). Atribuiu-se os novos valores de atrito para as sete classes existentes, figura 3.

Necessita-se de um segundo plano de informação que é a imagem pontual ou de um pequeno círculo que identifica a área da mineração e mostra o local ou a feição a partir da qual as distâncias de custo serão calculadas, (Silva, 2000). Não exibiremos esta imagem devido a sua simplicidade.



**Figura 3:** Mapa de uso e cobertura do solo reclassificado

Esta análise, portanto, requer dois planos de informações. Um plano contém as feições a partir das quais as distâncias serão calculadas (imagem pontual da boca da mina). O outro plano descreve uma superfície de atrito (imagem criada a partir do mapa de uso e cobertura do solo reclassificado).

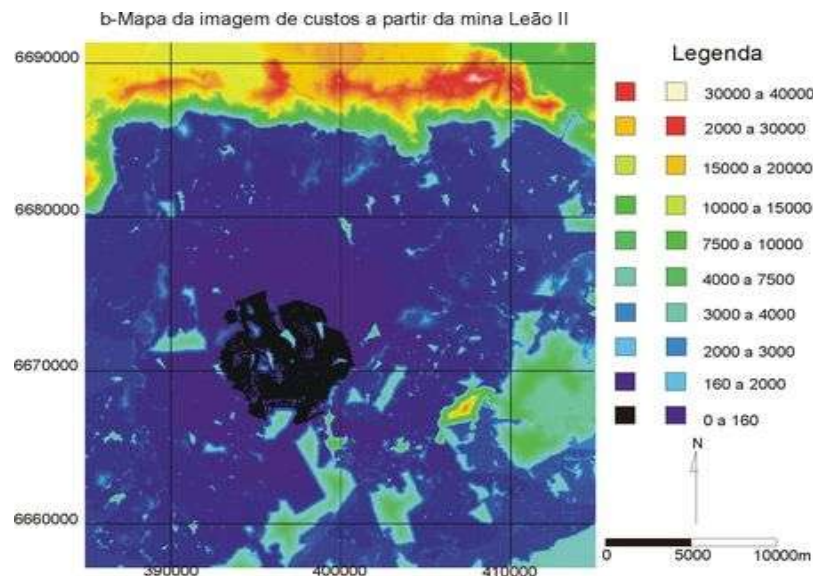
Primeiramente cria-se a imagem de superfície de atrito a partir da imagem de uso e cobertura do solo. Gera-se uma imagem que representa uma superfície de atrito e que defina os custos associados ao deslocamento através de diferentes tipos de uso e cobertura do solo existentes na área.

Executou-se o comando COST do Idrisi para gerar a imagem da superfície de atrito. O comando COST é um operador de distâncias que gera uma superfície de distâncias (também conhecida como superfície de custo), onde a distância é calculada pelo menor esforço em mover-se sobre uma superfície de fricção. As distâncias são calculadas radialmente a partir da origem, figura 4, que no caso representa mineração, mas preliminarmente é necessário transformar-se os vetores que representam a BR e o porto em formato raster. O estabelecimento rota de menor custo é realizado pelo comando PATHWAY. Este comando calcula a rota de menor custo unindo as células de terminais as células de destino ( figura 5).

### 3. Discussões

Na elaboração de um SIG, para um determinado objetivo, a escolha dos critérios, fatores e ponderações deve ser feita por uma equipe multidisciplinar, agregando conhecimentos e interesses de diferentes áreas das ciências, como a tecnológica, administrativa e ambientalista.

O desenvolvimento do processo de escolha de traçado de melhor rota, através do software Idrisi, está fundamentado no mapa temático de uso e cobertura do solo. Pois é a partir das classes temáticas do uso e cobertura do solo que se faz as ponderações em função do grau de dificuldade de se construir um rota em cada tipo de classe.



**Figura 4:** Imagem da superfície de atrito a partir da mineração

Acreditamos que o processo se tornaria mais adequado se fosse considerado, não somente as classes de uso e cobertura do solo, mas também outras informações, como as informações a respeito da declividade da área de estudo e informações geotécnicas, sendo estas variáveis tratadas na forma raster, obviamente. As diferentes classes de declividade seriam classificadas ou ponderadas de acordo com sua porcentagem de inclinação de forma a influir nos cortes e aterros do solo e subsolo subjacentes ao local do traçado da rota.

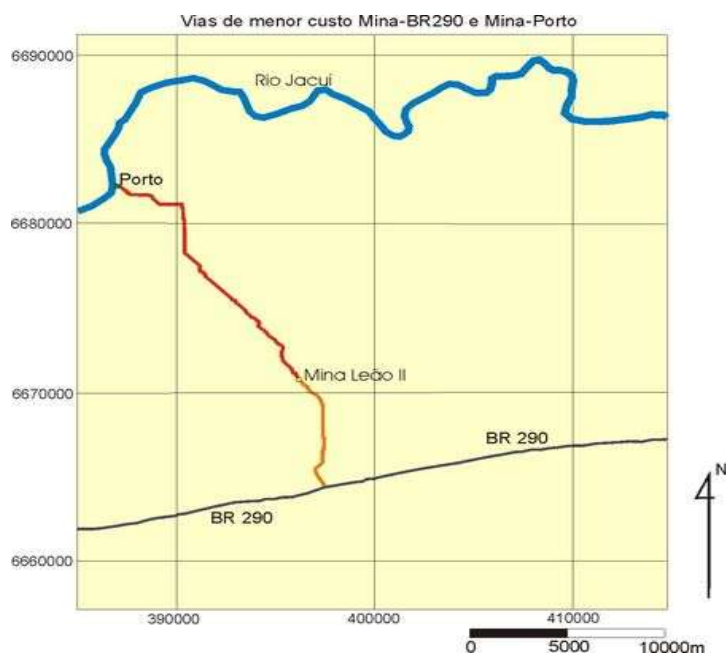
As características geotécnicas do solo e subsolo são fundamentais no estabelecimento de rotas, uma vez que informam sobre a estabilidade e a impermeabilidade do sítio sobre o qual será construída a estrada.

A viabilização de uma imagem que representasse uma síntese dos três fatores acima mencionados: uso e cobertura do solo, declividade e características geotécnicas, seria, sem dúvida, uma melhor aproximação das condições a serem ponderadas para a escolha do traçado do melhor trajeto. Um outro aspecto que chama atenção é a forma de se operar com a união das três imagens, assim tem-se que ponderar, os fatores positivos e os fatores negativos de cada uma das imagens.

Há a necessidade, também, de ser considerado o trajeto menos extenso, mas sobre este assunto o comando Pathway leva em conta este requisito.

Sem dúvida as ponderações atribuídas às superfícies de atrito é uma das fontes geradoras dos resultados. E na maioria das vezes ela esta baseada em critérios subjetivos, não existindo parâmetros numéricos para definições mais objetivas.

Hasenack et al. (1998) analisaram a vulnerabilidade de um parque urbano na cidade de Porto Alegre, através de módulos de apoio à decisão em Sistemas de Informação Geográfica. Consideram os seguintes fatores relativos com seus pesos: vegetação (0,0994), declividade (0,2190), distância das edificações (0,2437) e distâncias das ruas (0,4379).



**Figura 5:** Traçado de menor custo a partir da mina Leão II para o rio Jacuí e BR290

#### 4. Conclusões

Os traçados de vias de menor custo entre a mina Leão II e BR 290 e entre a mina Leão II e o porto no Rio Jacuí, seguiram, preferencialmente, devido às ponderações das superfícies de atrito adotadas nesta etapa, dentro da classe de campos, contornando as classes de florestas, corpos de água, área urbanizada e solo arado. Isto significa, que mesmo aumentando o percurso, ainda foi mais compensador executar os desvios.

O estabelecimento das rotas de menor custo (figura 4), entre o ponto de saída (boca da mina) e os pontos de destino (BR290 e porto no Rio Jacuí), sobre a imagem de custo foi realizado através de representações vetoriais. A primeira, entre a mina e a BR290 mede 7.143,8 metros e a segunda entre a mina o porto mede 15.226,8 metros.

As ponderações atribuídas às classes de uso e cobertura do solo, utilizadas neste trabalho, foram responsáveis pelos resultados obtidos na definição do trajeto das rotas de menor custo. O cenário seria diferente se fossem considerados outros valores de ponderações que não aqueles consignados.

## 5. Bibliografia

**EASTMAN, J. R.** 1998. *Manual do usuário Idrisi for Windows 2.0. Introdução e exercícios tutoriais*. Porto Alegre, UFRGS. Centro de Ecologia. 235 p.

**HASENACK, H.; WEBER, Eliseu; VALDAMERI, R.** 1998. *Análise de vulnerabilidade de um parque urbano através de módulos de apoio a decisão em sistemas de informação geográfica*. In: GISBrasil - Congresso de Geoprocessamento da América Latina. Curitiba. Pr.

**SILVA, J. L. B.** 2000. *Geoprocessamento aplicado a identificação de áreas para rejeitos e estimativa de recursos de carvão na região da mina Leão II*. Dissertação de Mestrado. Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento remoto e Meteorologia. Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. UFRGS. Porto Alegre, 140 p.