

## CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA ILHA DE SANTA CATARINA A PARTIR DE TÉCNICAS DE SR E SIG VISANDO A IMPLEMENTAÇÃO DE TÚNEIS VIÁRIOS

EFIGÊNIA SOARES ALMEIDA<sup>1</sup>

ROSANA MARIA RODRIGUES<sup>2</sup>

<sup>1</sup>UNIVALI – Universidade do Vale do Itajaí  
Rua Uruguay, 458, CP 360- 88302-202 centro - Itajaí - SC  
Efigenia@cttmar.univali.br

<sup>2</sup>UNIVALI – Universidade do Vale do Itajaí  
Rua Uruguay, 458, CP 360- 88302-202 centro - Itajaí - SC  
Rosana@cttmar.univali.br

**Abstract.** Florianópolis, located on Santa Catarina Island, at 27° 22' S e 27° 50' S, has a huge turistic vocation due to its physical and natural characteristics. The present research studies the rock mountains from Santa Catarina Island, trying to highlight its potential under two important aspects: underground excavation for storage and/or tunnels. Those alternatives for the utilization of the island rock mountains try to join at the same time, the enlargement of new urban spaces and the environmental preservation. In this research they were used like technical tools of remote satellite and GIS (Geographical Information System) that, associated the field data, they resulted in a series of thematic maps related to the physical middle of the Island of Santa Catarina. The analysis of the results obtained in the maps they allowed to arrive the proposal of underground use of the rock mountains of the Island.

**Key words:** rock mountains, underground excavation, remote sensing.

**Resumo.** A cidade de Florianópolis, situada na Ilha de Santa Catarina entre as latitudes 27° 22' S e 27° 50' S, possui incontestável vocação turística ligada às suas características físicas e naturais. Esta pesquisa estuda os maciços rochosos da Ilha de Santa Catarina, procurando ressaltar seu potencial sob dois importantes aspectos: escavação subterrânea para estocagem e/ou construções de vias de transporte (túneis). Estas alternativas para utilização dos maciços rochosos da Ilha, procuram unir ao mesmo tempo a ampliação de espaços urbanizáveis e preservação ambiental. Foram utilizadas as técnicas de Sensoriamento Remoto e SIG que, associadas a dados de campo, resultaram em uma série de mapas temáticos relacionados ao meio físico da Ilha de Santa Catarina. As análises dos resultados obtidas nos mapeamentos permitiram chegar a propostas de utilização subterrânea dos maciços rochosos da Ilha.

**Palavras chaves:** maciços rochosos, escavação subterrânea, sensoriamento remoto.

## 1. INTRODUÇÃO

A Ilha de Santa Catarina situa-se entre as Latitudes 27°22`S - 27°50`S e abriga Florianópolis, a capital do Estado. De um modo geral, a Ilha forma um grande maciço costeiro que se alonga numa dorsal central, acompanhando a costa continental, com dimensões aproximadas de 54 km de comprimento por 18 km de largura. Sua área territorial abrange 424,40 km<sup>2</sup>, dos quais aproximadamente 29 km<sup>2</sup> são de rios e lagoas.

Florianópolis se distingue de outras cidades brasileiras por vários motivos: característica insular, relevo acidentado e diversidade de ecossistemas. O aprofundamento de conhecimentos sobre o meio físico (geologia, relevo, etc.), torna-se então necessário para o planejamento de uma ocupação inteligente do espaço geográfico. Somente através destes conhecimentos básicos é que se poderá direcionar acertadamente o crescimento da cidade, integrando-a ao meio ambiente que a cerca, tirando proveito dos atributos naturais existentes e contribuindo para sua preservação.

O estudo direto das rochas de uma área e das condições em que estas ocorrem, nos fornecem alguns esclarecimentos para entendimento das estruturas e da tectônica da mesma. Os maciços rochosos da Ilha encontram-se caracterizados pela presença de inúmeros lineamentos estruturais que reflete a tectônica rúptil que afetou toda a região, representada pela ocorrência de diques, por falhas e fraturas nas rochas. Segundo Ladeira & Loczy (1976), a estrutura é o modo como as partes compositivas de uma rocha ou uma determinada porção da crosta se nos apresentam, sendo assim uma das feições maiores de uma dada massa rochosa

É evidenciada nesta pesquisa a eficiência da aplicação de técnicas de sensoriamento remoto orbital na interpretação e extração de estruturas lineares dos maciços rochosos da Ilha. Devido à clareza de tais estruturas nas imagens de satélite LANDSAT, tornou-se possível levantar uma gama de importantes informações, propiciando a formação de um banco de dados, base para caracterização e indicação de zonas de fragilidade estrutural dos maciços rochosos, confirmando as pesquisas de Cardoso de Lima (1978). Segundo Paradella & Meneses (1978, p 494), “no nível de escala das imagens de Landsat e de radar, as únicas feições que se destacam de maneira exemplar é a tectônica cataclástica, onde imensas falhas e fraturas são caracterizadas pelos profundos entalhamentos que provocam na morfologia”.

Barret & Cutis, 1992; Bahr & Vogtle, 1991; Dale & Mclaughlin, 1990; Loch, 1990; INPE, 1980, segundo Rodrigues (2000), consideram sensoriamento remoto uma tecnologia poderosa, que tem se mostrado eficaz em estudos do meio físico, sendo por isto cada vez mais utilizada como instrumento no planejamento e análises físicas e ambientais. É considerada uma ferramenta para estruturação do banco de dados necessários ao processamento, análise e planejamento do uso do espaço físico territorial.

O objetivo principal desta pesquisa foi levantar as características estruturais dos maciços rochosos da Ilha de Santa Catarina, base para avaliação da possibilidade de sua utilização através da escavação subterrânea. Os dados necessários foram levantados utilizando-se técnicas de sensoriamento remoto e SIG através do SPRING V. 3,5, onde foi realizado o armazenamento e cruzamento de dados, análise e elaboração dos diversos mapas temáticos.

Como resultados foi possível identificar regiões de baixa fragilidade estrutural, indicando áreas (maciços) passíveis de implementação de túneis viários e/ou estocagem subterrânea.

A alternativa de utilização subterrânea dos maciços foi analisada como meio de se criar novos “espaços” a serem utilizados na Ilha.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os trabalhos de interpretação geológica em imagens de radar e de satélite têm demonstrado eficiência na aquisição de informações geológicas, por possibilitarem o realce das feições estruturais e de relevo, facilitando a obtenção de dados. Foram utilizados nesta pesquisa produtos do satélite LANDSAT-5, WRS 220.79 de 05/04/97. As bandas 4,5 e 7 foram selecionadas em função de suas características espectrais e radiométricas. Estas bandas, por terem sido adquiridas no espectro do infravermelho, apresentam sensibilidade à morfologia do terreno, servindo para interpretar e analisar aspectos da morfologia, bem como feições geológicas e estruturais. Posteriormente, a imagem foi realçada por filtragens especiais e registrada na escala 1:50000 e transformada em uma Carta Imagem produto analógico, utilizada para extração das estruturas lineares, gerando assim um overlay temático, onde a Ilha foi dividida em quadrículas de 2km por 2 km. Este, posteriormente, foi digitalizado no SPRING. O método de interpretação baseou-se na análise visual de imagens LANDSAT, e observação da imagem em níveis de cinza (Radar), escala 1: 250.000 da Ilha, sendo utilizados. Na extração de dados estruturais foram utilizados os critérios convencionais, com base nas feições texturais, morfológicas e estruturais, observadas e interpretadas nas imagens. Foram consideradas indistintamente como falhas e/ou fraturas, os lineamentos estruturais de extensão superiores a 0,50 cm na escala considerada. Estas feições estruturais (lineamentos dominantes), diretamente relacionadas com a litologia da Ilha, foram identificadas na imagem como traços contínuos.

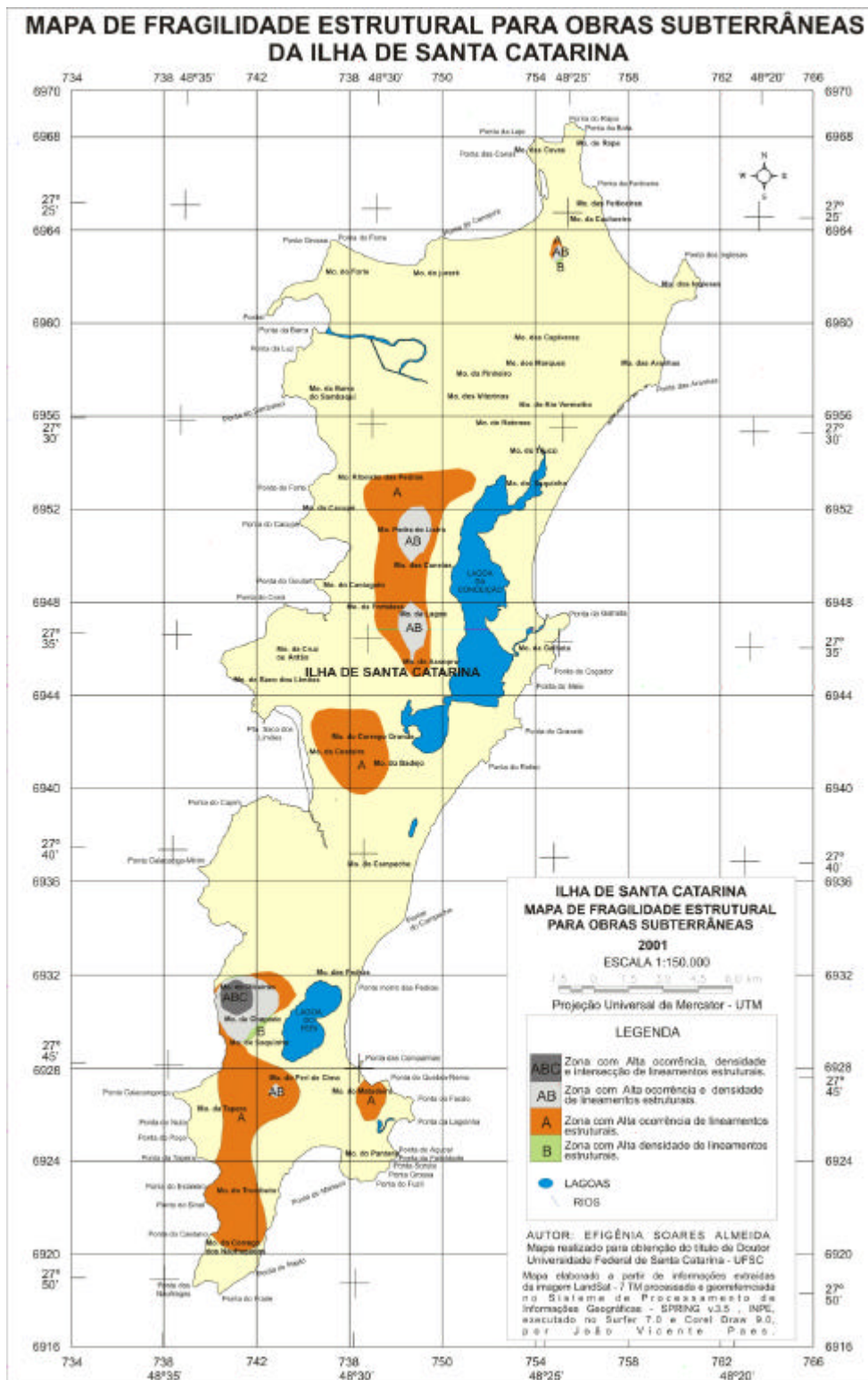
As unidades fotointerpretadas foram correlacionadas às unidades litológicas dos maciços rochosos com base na consulta do mapa geológico já existente, observações e dados levantados em campo foram identificadas as direções dos lineamentos e os ângulos formados por seus cruzamentos. Além disto, os lineamentos e cruzamentos de lineamentos em cada quadrícula foram identificados e contados.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.

O número de lineamentos estruturais identificados em cada unidade de área ou quadrícula, passou a ter um valor numérico, correspondente à cota Z. Em cada quadrícula, este valor variou entre zero (0) e dez (10). No caso dos cruzamentos de lineamentos estruturais, foram nove intervalos, agrupados em três classes: Baixa frequência de cruzamentos de lineamentos (isovalores: 0 - 3); Média frequência de cruzamentos de lineamentos (isovalores: 3 - 6); Densidade alta de cruzamentos de lineamentos (isovalores: 6 - 9). Também foi considerada a densidade de Lineamentos Estruturais em cada quadrícula. Os valores foram tabelados no software Surfer, no formato MNT (Modelo Numérico de terreno). A partir deles foi criada uma grade retangular, permitindo estabelecer “**intervalos de isovalores**”. A superposição de áreas de ocorrência de lineamentos, frequência de cruzamentos de lineamentos e densidade de lineamentos estruturais forneceu o Mapa de Zonas de Fragilidade Estrutural da Ilha de Santa Catarina (Figura 1). Nele, verificam-se quatro zonas de fragilidade: **Zona alta ocorrência, densidade e intersecção de lineamentos estruturais (AB)**; **Zona com alta ocorrência e densidade de lineamentos estruturais (AB)**; **Zona de alta ocorrência de lineamentos estruturais (A)**; **Zona de alta densidade de lineamentos estruturais (B)**

As zonas ABC e AB indicam regiões de alta concentração de elementos estruturais ou de alta fragilidade estrutural. As zonas A e B, indicam regiões de média concentração de elementos estruturais ou de média fragilidade estrutural.

Figura 1: Mapa de Zonas de Fragilidade Estrutural da Ilha de Santa Catarina



A mais alta concentração de elementos estruturais aparece no sul da Ilha, englobando maciços daquela área (em especial Morro do Ribeirão) e indicando uma zona de alta fragilidade estrutural (ABC e AB). Concentrações médias, representadas por alta ocorrência de lineamentos estruturais (A), aparecem ao sul do Morro do Ribeirão e continuam até o Morro do Córrego dos Naufragados e a oeste no Morro do Matadeiro.

Outra concentração média pode ser observada no centro-norte da Ilha, envolvendo os maciços do Morro da Costeira e do Morro da Represa, indicando uma zona de fragilidade estrutural (A). Ao norte, uma zona de alta concentração aparece englobando os maciços da costa oeste da Lagoa da Conceição, indicando outra zona de alta fragilidade estrutural na Ilha (AB).

Estas zonas estruturalmente fragilizadas representam concentrações de ocorrência de lineamentos, densidade de lineamentos e, principalmente, de cruzamentos de lineamentos estruturais. Localmente podem representar falhamentos, diques e fraturamentos, indicando zonas de maior probabilidade de ocorrências de descontinuidades nos maciços rochosos, ou seja, zonas de fraqueza mecânica e de possíveis vias de percolação de água no interior das massas rochosas.

No caso de projeto de obra de escavação subterrânea, estas áreas de fragilidade estruturais devem ser evitadas. Para execução da obra nestes locais, as investigações geológicas devem ser detalhadas através da utilização de métodos modernos como geofísica e, principalmente, de um estudo hidrodinâmico, evitando surpresas durante a execução da mesma, principalmente relacionadas a custos.

### **3.2 Utilização Subterrânea dos Maciços Rochosos da Ilha: Propostas**

A construção de túneis e/ou cavernas em rocha para os mais diversos fins em uma determinada área está diretamente relacionada ao tipo de rocha ali existente e à sua estrutura geológica. Os estudos desenvolvidos na Ilha demonstram a ocorrência expressiva de maciços litologicamente constituído por granitos de boa qualidade que somam 192,5 km<sup>2</sup> (48 % da área da Ilha),

A observação do Mapa de Fragilidade Estrutural pode indicar alguns bons locais para execução de obras subterrâneas na Ilha. Nota-se que maciços situados nas proximidades do centro urbano ou em balneários densamente urbanizados, devido a suas boas dimensões e características geológicas, poderiam ter seu interior utilizado para construção de estações de tratamento de esgoto, armazenamento e distribuição de água e instalações de equipamentos de infra-estrutura.

É o caso do **Morro do Campeche** localizado em posição ideal para servir à comunidade da região, que se encontra em franco crescimento. Este maciço alcançando a cota de 210 metros e 1,5 km de comprimento. Nele poderia ser construída estação de armazenamento de água ou a estação de tratamento de esgoto para a região, evitando-se a contaminação do lençol freático por fossas sépticas, muito comum nesta região

O maciço apresenta boas condições estruturais, com baixa ocorrência de lineamentos, mas a presença de diques deve merecer atenção na determinação de procedimentos de investigação na fase de projeto. Na construção do acesso ao interior do maciço rochoso, cuidados ambientais necessários contribuirão para minimização de impactos, preservando o verde que o recobre.

### **3.3 Túneis**

O contraste entre áreas baixas e elevações constituídas por maciços rochosos é responsável pelas peculiaridades e beleza da Ilha de Santa Catarina. Entretanto, muitas vezes, os maciços rochosos formam barreiras entre os balneários do leste e do oeste. Observando-se a topografia e as zonas de fragilidade estruturais, nota-se que várias estradas poderiam ser interligadas ou duplicadas através de

túneis, como os propostos a seguir: 1- Duplicação do acesso à Lagoa da Conceição (1,4 km); 2- Ingleses / Praia Brava (600 m).

#### **a) Túnel do Morro da Lagoa da Conceição**

O túnel de acesso à Lagoa da Conceição (1,4 km), seria alternativa para duplicação da via de acesso até a região de lazer mais conhecida, movimentada e freqüentada por turistas da Ilha. A construção do túnel facilitaria o acesso e evitaria os engarrafamentos constantes. A Figura 7 mostra o trajeto do túnel e os possíveis pontos de emboque do mesmo. O Mapa de Zonas de Fragilidade Estruturais indica para esta região uma zona de alta fragilidade estrutural. Como no caso anterior, esta constatação aponta para necessidade de investigações detalhadas no projeto de obra subterrânea e indica maiores custos, mas não a inviabiliza.

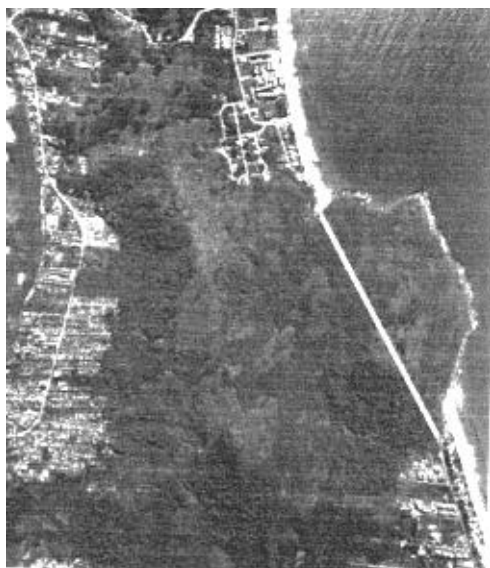
**Figura 2:** Localização possível túnel de duplicação acesso à Lagoa da Conceição



#### **b) Túnel Ingleses / Praia Brava**

A construção deste túnel fecharia o contorno da borda leste com o norte da Ilha e ligaria diretamente dois importantes e procurados balneários (Ingleses/Praia Brava). Além disto, ainda no interior do maciço rochoso, poderia ser construído um estacionamento para apoio ao pólo de desenvolvimento turístico da região (Figura 4). A não ocorrência de área de fragilidade estrutural certamente contribuirá para minimizar os custos da possível obra.

**Figura 3:** Localização possível túnel acesso Ingleses/Praia Brava



As formas de utilização do interior de maciços rochosos são muitas e variadas e mesmo com os custos deste tipo de obra ainda elevados, sua utilização pode se tornar necessária, quando a questão é a ampliação de espaços e a preservação ambiental.).

Com relação à utilização subterrânea de maciços rochosos na Ilha, a boa ocorrência de rocha granítica é um ponto importante para que as obras sejam bem sucedidas no caso da Ilha de Santa Catarina. Quanto menos fragilizado for o maciço, mais segura, mais rápida e barata poderá ser a escavação.

Além disto, alguns fatores econômicos podem ser indicados: sendo o subsolo propriedade da União, a ocupação do espaço subterrâneo evitaria desapropriações e especulação imobiliária. Outro importante fator econômico esta relacionado com a comercialização do material escavado e a possibilidade de lucro. Apenas como exemplo, segue cálculo do volume de rocha extraída da única obra subterrânea da Ilha, a construção dos túneis da Via Expressa Sul: Seção do túnel: 117 m<sup>2</sup>; comprimento dois túneis: 1.450 metros e volume rocha extraída: 169.650 m<sup>3</sup>.

A utilização subterrânea dos maciços rochosos é apontada como alternativa possível para criação de novos espaços para o desenvolvimento de obras de infra-estrutura e comerciais, ao mesmo tempo que objetiva contribuir para a preservação do meio ambiente externo da Ilha.

#### **4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- CAMARA, G.; SOUZA, RCM.; UM, Freitas.; GARRIDO, J. **SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling.** Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.
- CARDOSO DE LIMA, M.I. A Importância das Estruturas Lineares e Planares na Interpretação Radargeológica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO 5-REMOTO. 1., 1978. São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: INPE/CNPq, 1978. v.2., p.500-509.
- MATTOS, J. T., FIORI, P.A., SOARES, P.C. **A Lógica de Interpretação de Fotografias Aéreas Convencionais Aplicadas a Imagens de Satélite.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE

SENSORIAMENTO REMOTO, 1978, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: INPE/CNPq, 1978. p.616-617. 2 v.

PARADELLA, W.R., MENESES, P.R.. **Síntese Geológica Preliminar da Parte Sul do Estado do Espírito Santo.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1., 1978, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: INPE/CNPq, 1978. 2 v. p.479-499.

PARADELLA, W.R.; MENESES, P.R.; OHARA T.; GUERRA, S.M.; VENEZIANI, P.; MARTINI, P.R.; BALIERO, M.G.; BARBOSA, M.P.; RODRIGUES, J.E.; CREPANI, E.; DOS ANJOS, C.E.; LIU, C.C.; DOS ANJOS, A.R.. **Avaliação de Dados de Sensoriamento Remoto no Levantamento Geológico da Região Compreendida entre São Bento do Sapucaí e Caraguatatuba.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1., 1978, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: INPE/CNPq, 1978. 2 v. p.549-566.

RODRIGUES, R.M. **Estudo e Caracterização do Meio Físico da Bacia do Rio Camboriú/SC, Visando Zoneamento Geoambiental.** Rio Claro, 2000. 100 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Estadual Paulista.