

Utilização de técnicas de geoprocessamento através de um SIG para a estimativa de características mecânicas dos solos do município de Florianópolis

Manolo Lima Caraméz¹

Rafael Augusto dos Reis Higashi¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC - Centro Tecnológico –
Departamento de Engenharia Civil - CEP – 88040-970 – Florianópolis – SC, Brasil
rrhigashi@gmail.com; manolocaramez@gmail.com

abstract. This study presents an application of a Geographic Information System (GIS) for a geotechnical mapping of the soils of Florianópolis – SC, also the development of a Digital Elevation Model (DEM). The previously knowledge of the geotechnical units and the characteristics of the soils could assist the urban planners on defining the cities zoning. Therefore is very important obtaining consistent data to elaborate a reliable geotechnical data base. This knowledge is important to control and prevent irregular occupation of coastal zones and hills. The mapping was done according by the methodology proposed by Davison Dias (1995), and the parameters of the soils were obtained by parametric correlations of Standard Penetration Test (SPT), provided by companies specializing in geotechnical. To develop the digital elevation model it was also necessary to have a slope map, obtained by an altimetric map, accurate to five meters and a map of rivers basins, provided by a undertaking agricultural research and extension of government. In a GIS software, the *ArcView GIS*, it was possible to integrate all this information and create the geotechnical mapping and the digital elevation model. The geotechnical map makes possible to correlate the geotechnical units and construction problems, showing the soils different deficiencies. The digital elevation model could help the urban planners on forbid irregular constructions, based on the risk scale of the zone determined by the slope of the terrain. Both could be used to prevent future spending, and disasters.

Palavras-chave: GIS, geotechnical mapping, digital elevation model.

1. Introdução

O conhecimento prévio das unidades geotécnicas e características dos solos de áreas em grande escala servem como parâmetro importante para auxiliar o planejamento público do uso e ocupação do solo e a implantação de políticas públicas de conscientização popular.

Por este motivo, a obtenção de dados coerentes e precisos sobre as propriedades do solo é imprescindível para um estudo geotécnico confiável, com credibilidade para uso na elaboração de um banco de dados geotécnicos.

Baseando-se nessas informações, os gestores podem ter mais precisão ao direcionar a expansão urbana para áreas mais adequadas e seguras, determinarem locais apropriados para implantação de áreas residenciais, rodovias, cemitérios, aterros sanitários, áreas industriais, entre outros.

Tais informações são de grande valia também para a orientação de anteprojetos, pois através destas é possível determinar para cada tipo de unidade geotécnica indicadores de erodibilidade, permeabilidade, índices de consistência, características físicas, entre outros.

Conforme Santos (1997) é sempre mais seguro construir considerando-se todas as variáveis geotécnicas envolvidas do que reparar as consequências dos chamados “acidentes geotécnicos”, como são erroneamente designados, uma vez que acidentes são eventos imprevisíveis. Pode-se afirmar ainda que os custos envolvidos com estudos geotécnicos adequados são sempre extremamente inferiores aos necessários para recuperar problemas posteriores à execução, como recalques em fundações por exemplo.

O presente trabalho propõe a utilização de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) de caracterização geotécnica aplicada aos diversos tipos de solo do município de Florianópolis, juntamente com um modelo digital do terreno, com o propósito de auxílio na análise de utilização e ocupação do solo.

Conforme o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), o município está localizado na área denominada de zona costeira, e que as características geotécnicas das localizadas inseridas nesta área são confirmadamente frágeis.

Segundo Carvalho *et al* (2007), no gerenciamento de áreas com risco de deslizamentos, enchentes e inundações, existem dois fundamentos principais.

O primeiro fundamento é a previsão, que possibilita a identificação das áreas de risco e indica os locais onde poderão ocorrer eventos catastróficos (definição espacial = onde), estabelecendo as condições e as circunstâncias para a ocorrência dos processos (definição temporal = quando).

O segundo é a prevenção, que fornece a possibilidade de adotar medidas preventivas, visando impedir a ocorrência dos processos ou a redução das magnitudes, minimizando os impactos e agindo diretamente sobre edificações e/ou a própria população.

Durante os anos de 2006 e 2007, foi elaborado o Plano Municipal de Redução de Riscos de Florianópolis (PMRRF), onde foram mapeadas 35 comunidades localizadas em assentamentos precários distribuídos em 101 setores de risco de escorregamentos, divididos em: 25 setores como de baixo risco, 32 como de médio risco, 35 como de alto risco e 09 setores como de risco muito alto.

Apesar da classificação detalhada e elaborada do PMRRF, muitas áreas de risco, localizadas na ilha de Santa Catarina, não foram mapeadas com base em características geotécnicas dos solos residuais. Desta forma, o trabalho objetiva a análise de algumas características geotécnicas de Florianópolis, tendo como base o trabalho desenvolvido por Santos (1997), com seu mapa geotécnico, modelo de elevação e um banco de dados de sondagens SPT (*Standard Penetration Test*).

2. Caracterização da área de estudo

O município de Florianópolis é a capital do estado de Santa Catarina e está localizado no litoral em sua porção centro-leste na latitude $-27^{\circ}35'48''$ e longitude $-48^{\circ}32'57''$. Possui área de $436,5\text{Km}^2$, sendo $424,4\text{Km}^2$ em sua parte insular e $12,1\text{Km}^2$ em sua parte continental. A linha de costa é bastante irregular, com uma extensão de 172 Km, abrangendo 42 praias.

Limita-se a oeste com o município de São José e o restante do seu perímetro com o Oceano Atlântico. O principal acesso é dado pela rodovia BR-101 e BR-282, sendo possível também o acesso pelo Aeroporto Internacional Hercílio Luz.

A Figura 1 apresenta um mapa indicando a localização do município na esfera estadual.

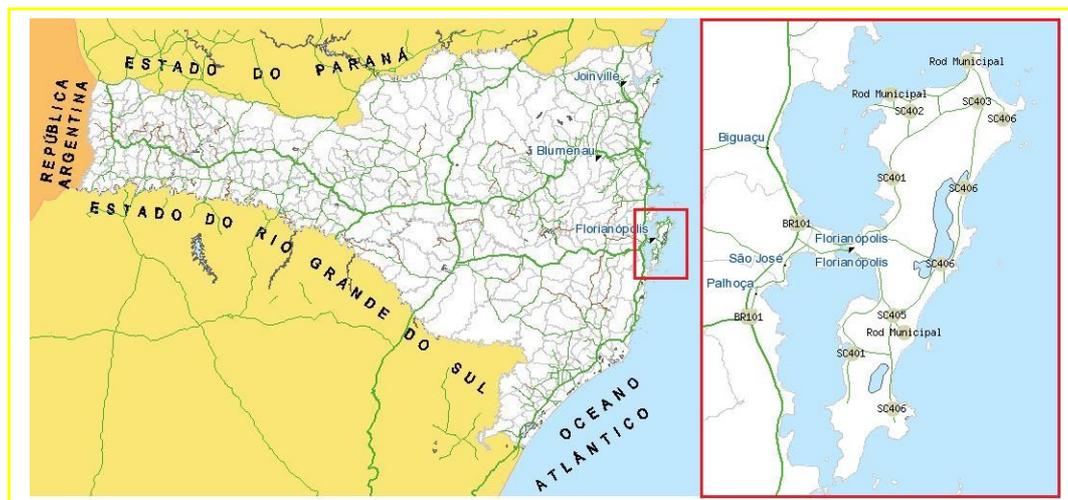


Figura 1 - Localização do município de Florianópolis (www.mapainterativo.ciasc.gov.br)

Segundo relatório divulgado pela ONU em 2000, Florianópolis é a capital brasileira com maior índice de desenvolvimento humano (IDH) e possui uma taxa de urbanização de 97,04%. É a segunda cidade mais populosa do estado, com uma economia alicerçada nos setores de tecnologia, comércio, prestação de serviços, turismo e construção civil. Nos anos de 2000 à 2007, a cidade de Florianópolis apresentou um aumento populacional da ordem de 13,7%, contando com um total de 342.315 habitantes em 2007 (IBGE, 2010).

A geologia do município é formada por morros de granitóides, cortados por diques de riolito e diabásio, que constituem as elevações e por sedimentos eólicos, fluviais e lacustres que constituem as planícies. Os granitóides, quando submetidos a processos de intemperismo de climas tropicais e subtropicais, apresentam um manto inconsolidado de espessura considerável, que pode chegar até 30m, conforme pode ser observado nos perfis de sondagem. Nas planícies, a espessura de solo mole chega a 40m.

Do ponto de vista da pedologia, a área de estudo abrange uma diversidade grande de classificações, podendo-se citar os Cambissolos, apresentando horizonte B muito pouco espesso (câmbico), os solos Podzólicos, que possuem o mesmo horizonte com uma espessura um pouco maior, os solos Litólicos com afloramento de rochas, solos hidromórficos argilosos e não hidromórficos, Areias Quartzosas, entre outros.

3. Metodologia de trabalho

Com o propósito de compor o mapa geotécnico do município de Florianópolis, diversos outros mapas foram integrados e correlacionados em ambiente SIG. Os mapas utilizados contêm informações geológicas, pedológicas, litológicas, geomorfológicas, de vegetação, uso do solo, entre outros. Além desses mapas, foi utilizado também um mapa de curvas de nível de intervalos de 5 metros para produzir o Modelo Digital de Elevações (MDE).

A metodologia utilizada para concepção do mapa geotécnico é baseada na metodologia desenvolvida na UFRGS por Davison Dias (1995) para grandes áreas, baseando-se na formulação de um mapa temático geotécnico, onde os mapas pedológico e litológico, oriundo de um mapa geológico, são utilizados para a formulação de unidades geotécnicas com estimativas de comportamento mecânico intrínsecos ao solo.

Primeiramente, foram coletados dados preexistentes com informações pertinentes ao desenvolvimento do mapa geotécnico para toda a área estudada. Tais informações referem-se

aos mapas geológico e litológico; mapas topográficos com informações altimétricas constituídas de curvas de nível da ordem de 5 metros, mancha urbana, ruas e logradouros, entre outros; diversos laudos de sondagens “SPT” fornecidos por empresas especializadas em geotecnia.

A etapa seguinte consistiu na inserção das informações em ambiente *SIG* utilizando o *software ArcView*. Por meio do *software* foi possível criar temas, organizando as diversas informações, agrupando dados de diferentes formatos correlacionados a uma mesma unidade geotécnica. Foi possível também criar um banco de dados de sondagens “SPT”, dispondo-os também no mapa.

A terceira etapa consistiu na criação do Mapa Geotécnico Preliminar, utilizando-se de técnicas de geoprocessamento. Tal etapa foi desenvolvida também no *software ArcView GIS*.

Com a obtenção do Mapa Geotécnico Preliminar, foi possível então iniciar a fase de análise das informações contidas no *SIG*. Tais análises foram possibilitadas utilizando o *software ArcView GIS*, através da criação de mapas temáticos. Esses mapas podem ser determinados pelo usuário baseados nas informações existentes, por exemplo: criação de mapa com determinada escala indicando o nível do lençol freático das diversas subdivisões da área estudada, profundidade do impenetrável, N_{SPT} dos diversos pontos obtidos, entre outros.

Outro mapa temático importante refere-se ao modelo digital de elevação. Como insumos foram necessários um mapa de curvas de nível e um mapa com as micro bacias hidrográficas do município, obtidos através do portal digital de mapas digitais da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - EPAGRI

A última etapa refere-se à análise dos resultados obtidos, ou seja, análise dos diversos mapas gerados com intuito de correlacioná-los a um planejamento de ocupação e uso do solo de toda a área estudada.

A figura 2 apresenta um esquema simplificado da metodologia utilizada seqüencialmente.

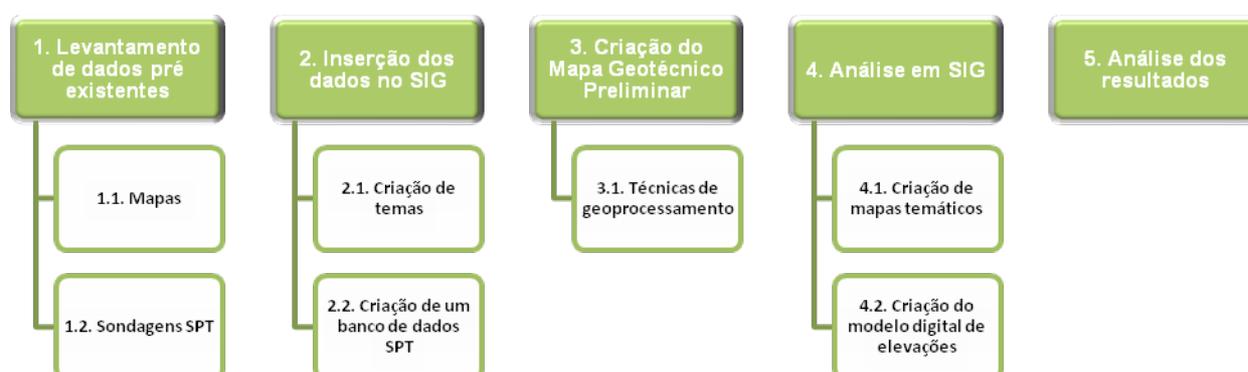


Figura 2 – Esquema simplificado da metodologia utilizada

Através de um vasto banco de dados de sondagens de simples reconhecimento a percussão *SPT*, foi possível estimar valores das características físicas do solo, como coesão, peso específico aparente natural e ângulo de atrito, para cada ponto de sondagem. Tais parâmetros foram estimados a partir do valor N_{SPT} dos furos de sondagem e da determinação do tipo de solo dos horizontes amostrados, através de tabelas de correlações paramétricas (Berberian, 2001).

Concomitantemente, a estimativa desses valores, é possível também determinar o nível do lençol freático com intuito de definir-se a condição de umidade (saturação) do solo, influenciando diretamente na confecção do mapa de suscetibilidade de deslizamentos.

4. Resultados e discussão

De toda a área de estudo, foram analisadas três micro bacias específicas: Micro Bacia da Lagoa da Conceição, Micro Bacia do Saco Grande e Micro Bacia do Itacorubi. Tal seleção deve-se ao fato de corresponderem a zonas críticas com histórico de movimentações de massa, a existência de densa ocupação antrópica e também devido à fragilidade ambiental características dessas áreas. Além disso, a metodologia seguida para a realização da pesquisa (Davison Dais, 1995), indica que os solos surgem com base em uma toposequência típica, sendo necessária, então, a definição das maiores e menores cotas de elevação.

A figura 3 ilustra a disposição das micro bacias no município de Florianópolis.

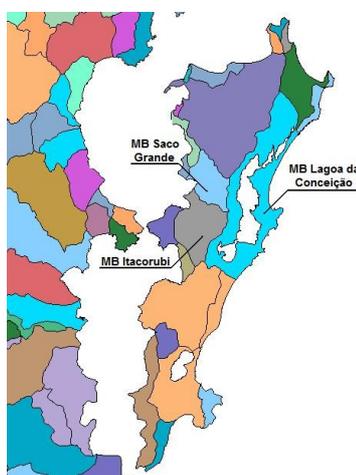


Figura 3 - Micro bacias analisadas (<http://ciram.epagri.sc.gov.br/mapoteca>)

Para essas micro bacias, foram determinados através dos ensaios *SPT* as características e os parâmetros físicos médios para profundidade de 5 metros, apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Características e parâmetros físicos médios

Micro Bacia	$N_{SPTMédio}$	Cota N.A. [m]	$\gamma_{aparente}$ [g/cm ³]	Φ [°]	c [KPa]
Lagoa da Conceição	9,47	7,133	1,704	29,75	3,59
Saco Grande	17,89	14,30	1,742	14,00	6,45
Itacorubi	7,56	5,24	1,564	13,36	6,43

De todas as unidades geotécnicas presentes no município, há a predominância de seis unidades nas micro bacias em questão: Areias Quartzosas substrato sedimentos quaternários (AQsq), Cambissolo substrato de depósito de encostas (Cde), Cambissolo substrato granito (Cg), Dunas substrato sedimentos quaternários (DNSq), Glei substrato sedimentos quaternários (Gsq) e Podzólico Vermelho-Amarelo substrato granito (PVg).

Através de modelos digitais de elevações, pôde-se observar uma tendência na disposição de determinadas unidades geotécnicas em relação a altitude e declividade, conforme ilustra a figura 4.

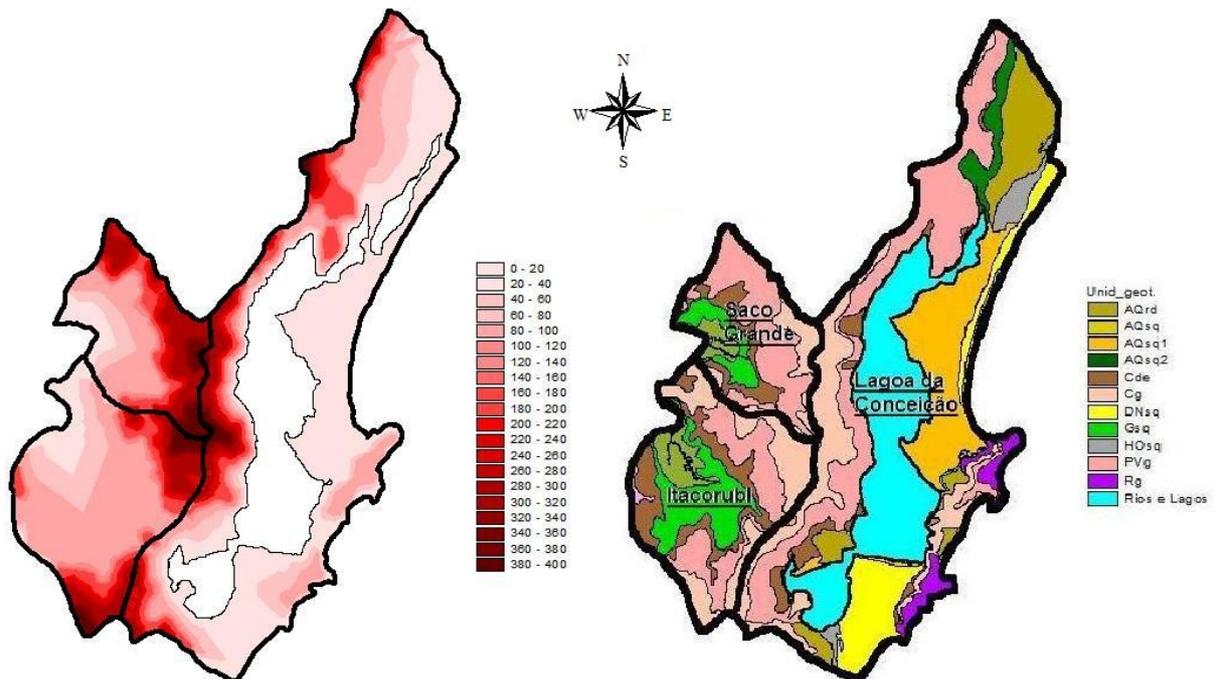


Figura 4 - Modelo Digital de Elevações e Mapa Geotécnico

Foi possível ainda obter através de recursos do *ArcView* modelos digitais do terreno para cada micro bacia, conforme pode ser visto nas figuras 5, 6 e 7, representando as micro bacias da Lagoa da Conceição, Saco Grande e Itacorubi, respectivamente.

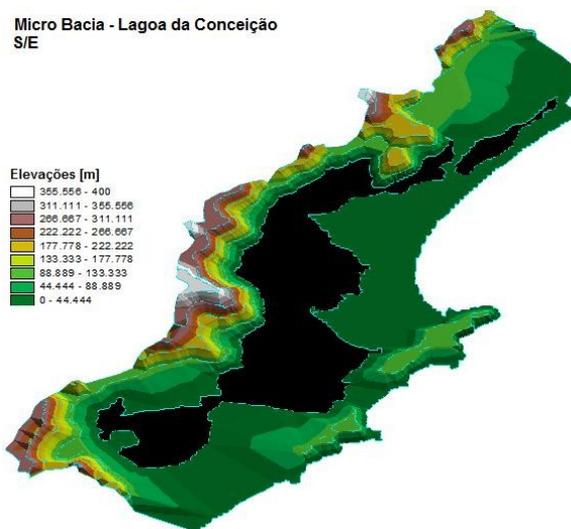


Figura 5 – MDT da Micro Bacia da Lagoa da Conceição

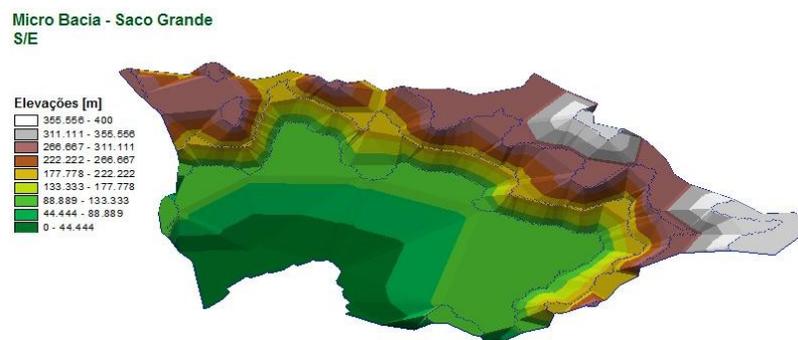


Figura 6 - MDT da Micro Bacia do Saco Grande

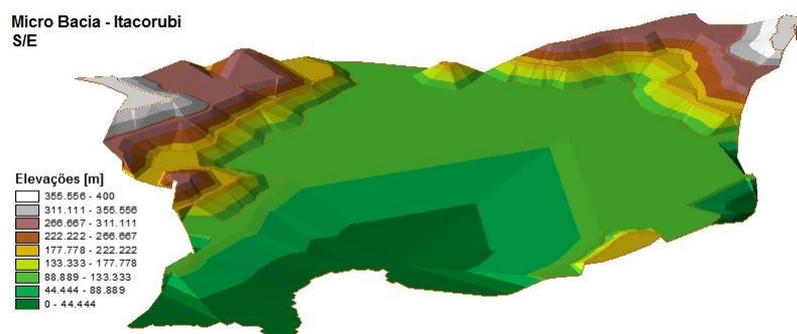


Figura 7 - MDT da Micro Bacia do Itacorubi

Através da análise entre as elevações, as características gerais das unidades geotécnicas e o banco de dados de sondagem SPT, observou-se que o comportamento geotécnico dos solos analisados apresentaram as seguintes características:

- As unidades de AQsq que se apresentam nas cotas mais planas e mais superficialmente, são constituídas de solos arenosos. Com a variação da profundidade, as areias são intercaladas com camadas argilosas minerais moles. Além disso, o lenço freático é frequentemente encontrado próximo à superfície. As unidades AQsq, localizadas nos sopés das elevações graníticas apresentam o fenômeno da podzolização como característica mais marcante. Desta forma, esta unidade apresenta camadas de solos metaestáveis, podendo ser originado o processo de colapso de sua estrutura com a presença de pressão de água. Estas características restringem o uso e ocupação desta unidade por construções civis de pequeno porte, uma vez que este processo inicia-se com cargas mais leves (normalmente abaixo de 300kPa).

- No local de estudo, as unidades de Cg e PVg são geralmente solos residuais das rochas graníticas localizados em cotas mais elevadas e declividades acentuadas. De acordo com o banco de dados analisado, estes solos apresentam uma seqüência de horizontes bem definida A, B, C, RA e R, e devido ao seu horizonte B relativamente pequeno, foram analisadas juntas.

Observou-se que são solos não hidromórficos e com grande resistência mecânica desde a superfície, atingindo valores mais elevados com o gradual aumento da profundidade, devido o menor grau de intemperismo do perfil. Estas unidades, quando localizadas em declividades mais acentuadas, podem apresentar a instabilidade de suas encostas, sobretudo quando ocorrem diferenças de permeabilidade entre possíveis camadas de solos residuais verticais, tais como os diques e sils de diabásio.

- As unidades de Cde são originadas de colúvios antigos que sofreram o intemperismo químico e, nos dias de hoje, apresentam um horizonte B câmbico. Esta unidade é localizada em declividades e cotas mais baixas que as unidades PVg e Cg. Para a localidade de estudo, estes solos apresentam uma superfície de ruptura que pode ser observada através do ensaio de SPT, que é considerada como uma zona de fraqueza, tendo em vista os aspectos relacionados à instabilidade de encostas. Devido à elevada intensidade do intemperismo da área estudada, nos colúvios mais antigos, essa característica é notada de forma bastante sensível.

- As unidades de Gsq são constituídas de profundos depósitos de argila mole mineral, com o lenço freático próximo à superfície do solo. Estes solos são encontrados em regiões de relevo mais plano, sendo que nas bacias estudadas, esta unidade pode surgir em cotas de até 10m em relação ao nível do mar. São solos de elevada compressibilidade, baixa resistência ao cisalhamento do solo e baixa permeabilidade. Desta forma, estas características geomecânicas

tornam estes solos de difícil uso e ocupação por estruturas civis e, sobretudo, infra-estrutura viária.

5. Conclusões

Através dos modelos digitais de elevações e do mapa geotécnico gerado, pode-se evidenciar a heterogeneidade do relevo e disposição das unidades geotécnicas nas micro bacias estudadas. As elevações existentes propiciam a determinação de diversas unidades geotécnicas, havendo a tendência de unidades do tipo “PVg” e “Cg” nas maiores elevações e de unidades do tipo “Cde” e “Gsq” nas menores elevações.

Essa tendência indica as formações de solos câmbicos a partir de rochas graníticas nas maiores elevações, assim como a formação de solos originários da movimentação destes, havendo depósitos nas áreas de menor elevação e menor inclinação, ou seja, há uma tendência natural de movimentação de massa das áreas de maior elevação para as de menor elevação.

Por se tratar de um ecossistema frágil e com forte tendência de ocupação antrópica, o planejamento de uso do solo dessas áreas deve ser estudado interdisciplinarmente avaliando-se todas as variáveis possíveis. A pré disposição de movimentação de massas e as características inerentes à determinados tipos de solos fazem parte dessas variáveis a serem analisadas cuidadosamente.

As técnicas de geoprocessamento em ambiente SIG apresentaram-se como ferramentas práticas e eficazes na confecção do mapa geotécnico, modelos digitais de elevações e na criação de banco de dados. Porém são necessárias também explorações em campo para verificação das unidades geotécnicas determinadas, uma vez que a sobreposição de mapas pode gerar dados de natureza duvidosa.

6. Referências

BERBERIAN, D. **Engenharia de Fundações**, Ed. UNB, 700 p. Brasília, 2001.

Brasil. Ministério das Cidades / **Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios** / Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura, organizadores – Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007

Defesa Civil de Santa Catarina. Serviços. Disponível em: <<http://www.defesacivil.sc.gov.br>>. Acesso em: 27 de Setembro de 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades. Florianópolis. Disponível em: <<http://ibge.gov.br>>. Acesso em: 06 de Novembro de 2010.

MACEDO, E. S. Elaboração de cadastro de risco iminente relacionado a escorregamentos: avaliação considerando experiência profissional, formação acadêmica e subjetividade. Rio Claro, 276 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista – UNESP, 2001.

PNGC - Plano Nacional do Gerenciamento Costeiro, lei Nº 7.661 - Política nacional para os recursos do mar, 1988.

SANTOS, Glaci Inez Trevisan. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. ESCOLA DE ENGENHARIA. **Integração de informações pedológicas, geológicas e geotécnicas aplicadas ao uso do solo urbano em obras de engenharia**. 1997. 209f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia.