

USO DE UM BANCO DE DADOS NA ESTIMATIVA DO RECALQUE DE ARGILAS MOLES DE FLORIANÓPOLIS/SC

Pâmela Betiatto¹; Gisele Marilha Reginatto²; Pâmela Bogo Pessini³; Amanda Fabrin⁴; Rafael Augusto dos Reis Higashi⁵

Resumo – Este estudo objetivou estimar o recalque por adensamento primário de argilas de consistência mole a muito mole presentes em unidades geotécnicas sedimentares do município de Florianópolis, estado de Santa Catarina, a partir de dados coletados e boletins de sondagens do tipo *Standard Penetration Test* (SPT). Para tanto, foi elaborado um banco de dados georreferenciado contendo parâmetros físicos e de compressibilidade das argilas do litoral catarinense, a partir do qual foram geradas equações de correlação. Para determinados parâmetros, foram obtidas equações com coeficientes de correlação (r^2) superiores a 0,5, chegando até a 0,90 e 0,99 nas relações envolvendo o índice de vazios, umidade e peso específico dos solos. Os recalques estimados, exceto para a unidade Glei com substrato sedimentos quaternários (Gsq), em ao menos um perfil de solo analisado, superaram 65mm (limite recomendado para sapatas isoladas). Sendo que, dentre as unidades, a Podzol Hidromórfico com substrato sedimentos quaternários (PZsq) foi a que apresentou solo com maior recalque médio. Desta forma, foi estimado para as unidades geotécnicas em estudo o comportamento das argilas moles e muito moles em relação a ocorrência de recalques, o que pode auxiliar no planejamento do território e no desenvolvimento de anteprojetos de fundações diretas na região.

Abstract – This study aims to estimate the soil repression by initial densification of soft to very soft clays present in sedimentary geotechnical units in the city of Florianópolis, state of Santa Catarina, using collected data and Standard Penetration Test (SPT) surveys. In order to this, a georeferenced database containing physical and compressibility parameters of clays from the Santa Catarina coast was elaborated, from which correlations equations were generated. For certain parameters, equations with correlation coefficients (r^2) higher than 0,5 were obtained, reaching up to 0,90 to 0,99 in relations involving the index of voids, moisture and specific gravity of the soils. Repressions estimated, except for the Glei unit with substrate quaternary sediments, in at least one analyzed soil profile, exceeded 65mm (recommended limit for single sabots). Among the units, PodzolHydromorphic with substrate quaternary sediments was the one with the highest mean repression. Thus, the behavior of soft and very soft clays was estimated for the geotechnical units under study in relation to the occurrence of repression, which may help in the planning of the territory and in the development of direct foundations projects in the region.

Palavras-Chave – Banco de dados; recalque; equações de correlação.

1 Graduanda de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, (48) 99988-1088, pamelabetiatto@gmail.com

2 Doutoranda de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, (48) 99605-6557, gireginatto@gmail.com

3 Graduanda de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, (48) 99115-3178, pamepessi@gmail.com

4 Engenheira Civil, Banco Máximo, (48) 99900-1124, amanda.fabrin01@gmail.com

5 Professor da Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, (48) 98415-8187, rrhigashi@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

No estado de Santa Catarina, sobretudo nas regiões litorâneas, está presente um tipo de argila mole, cujas características de resistência ao cisalhamento e compressibilidade são desfavoráveis ao seu uso como base para fundações. Em virtude disso, por muito tempo foi evitado o uso deste solo para este fim. Entretanto, em decorrência da expansão urbana e da consequente necessidade de se aproveitar ao máximo o território, e com o avanço dos estudos e da tecnologia, essa realidade vem sendo modificada.

Existem inúmeras soluções geotécnicas que podem ser empregadas na estabilização de áreas que apresentam argilas moles, viabilizando, desta forma, a construção de obras de engenharia sobre esses solos. O êxito destas soluções depende sobretudo da disponibilidade e da qualidade das informações acerca do subsolo. Visto isso, pesquisas que caracterizam as argilas moles com o intuito de compreender o seu comportamento, relacionando, por exemplo, as suas propriedades físicas, de resistência e de compressibilidade, são importantes para a execução de eficientes obras de estabilização.

Diversos autores caracterizaram as argilas moles do estado de Santa Catarina (MASSOCCO, 2013; BARAN, 2014; DRÖSEMEYER et al., 2001; CARVALHO, 2000; TELISSARI, 2011). No município de Florianópolis, por exemplo, Maccarini e Oliveira (2001), Moura (2004), Oliveira (2006), e Espíndola (2011), determinaram para este tipo de solo, parâmetros físicos, de resistência e de compressibilidade. Santos (1997), a partir do mapa geotécnico da ilha de Santa Catarina determinou áreas de solos (unidades geotécnicas) residuais e sedimentares, caracterizando-as através de ensaios. Esse autor, além de relacionar os parâmetros obtidos à origem dos solos, a partir do mapeamento geotécnico, organizou os dados em um banco de dados georreferenciado, possibilitando inúmeras análises.

O mapeamento geotécnico é uma ferramenta útil na gestão do meio físico, representando, a partir de uma mapa ou de uma carta geotécnica, uma maneira de se prever o comportamento dos solos (HIGASHI, 2006). Dentre as metodologias de mapeamento geotécnico, cita-se a de Davison Dias (1995), desenvolvida para grandes áreas em solos tropicais. Esta metodologia define que, a partir de informações geológicas, pedológicas e topográficas (curvas de nível), é possível obter um mapa de estimativas de unidades geotécnicas, ou seja, áreas cujo solo apresenta comportamento geomecânico semelhante em função da sua gênese.

Segundo Bastos et al (2005) o banco de dados é um dos principais elementos para a elaboração de mapas ou cartas geotécnicas. De acordo com Paredes (1994) o banco de dados representa uma estrutura que armazena registros de forma integrada ou partilhada, permitindo que dados individuais ou que a combinação de vários dados seja utilizada por diferentes programas. Yuaça (2003) afirma que um banco de dados interligado a um SIG, vem sendo empregado para diversos fins e em várias cidades brasileiras. Coutinho e Oliveira (1994), por exemplo, elaboraram um banco de dados contendo propriedades geotécnicas das argilas moles do Recife, que auxilia, dentre outros, na elaboração de projetos de fundação.

A elaboração de um banco dados também possibilita a determinação de equações de correlação, o que se mostra bastante útil, especialmente em mapeamentos preliminares e de grandes áreas, onde há a necessidade de uma grande quantidade de dados. O uso de equações de correlação diminui o número de ensaios necessários para a caracterização dos solos, bem como, o tempo e o custo que seriam empregados na determinação dos mesmos. Além disso, possibilita a determinação de parâmetros de resistência e de compressibilidade dos solos a partir de dados obtidos em ensaios de caracterização física.

Autores como Terzaghi e Peck (1948 *apud* PINTO, 2000), Costa Filho et al. (1985), Ortigão (1995), Kulhawy e Mayne (1990 *apud* Das, 2013) e Morettin et al (2012), relacionaram os parâmetros físicos Limite de Liquidez (LL) ou Índice de Plasticidade (IP) dos solos ao coeficiente de compressibilidade (Cc). O coeficiente Cc é empregado no cálculo do recalque por adensamento primário de determinados solos e é obtido de forma direta a partir do ensaio de adensamento unidimensional (NBR 12007/1990). Além dos referidos autores, destacam-se Teixeira e Godoy (1998), Drösemeyer e Müller (1999) e Higashi (2006), os quais elaboraram equações de correlação

para os solos de Santa Catarina. Drösemeyer e Müller (1999), obtiveram em seus estudos coeficiente de correlação (r^2) igual a 0,54 e Higashi (2006) igual a 0,90.

Desta forma, o presente estudo objetiva caracterizar em termos de recalque as argilas moles presentes em determinadas unidades geotécnicas sedimentares do município de Florianópolis/SC, a partir de parâmetros de compressibilidade determinados por equações de correlação. Estas equações foram geradas com base em parâmetros geotécnicos já determinados em solos da região litorânea do estado, organizados em um banco de dados georreferenciado em ambiente SIG, relacionando dados de ensaios mais complexos àqueles obtidos em ensaios simples e de baixo custo. Com isso, esse estudo, além da caracterização dos solos, disponibiliza informações que auxiliarão na elaboração de anteprojetos de fundações superficiais sobre argilas moles da região analisada.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

2.1. Localização

Esse estudo foi realizado no município de Florianópolis, localizado na região leste do Estado de Santa Catarina, entre os paralelos 27°22' e 27°50' de latitude sul e os meridianos de 48°20' e 48°35' de longitude oeste (SANTOS, 1997). Foram analisados os solos das seguintes unidades geotécnicas sedimentares: Areias Quartzosas Hidromórficas com substrato sedimentos quaternários (AQsq1), Cambissolo com substrato depósito de encosta (Cde), Dunas com substrato sedimentos quaternários (DNsq), Solo PodzolHidromórfico com substrato sedimentos quaternários (PZsq) e Gleí com substrato sedimentos quaternários (Gsq), individualizadas no mapa geotécnico da Ilha de Santa Catarina, elaborado por Santos (1997) na escala 1.50.000, a partir de metodologia de Davison Dias (1995), conforme apresentado na Figura 1.

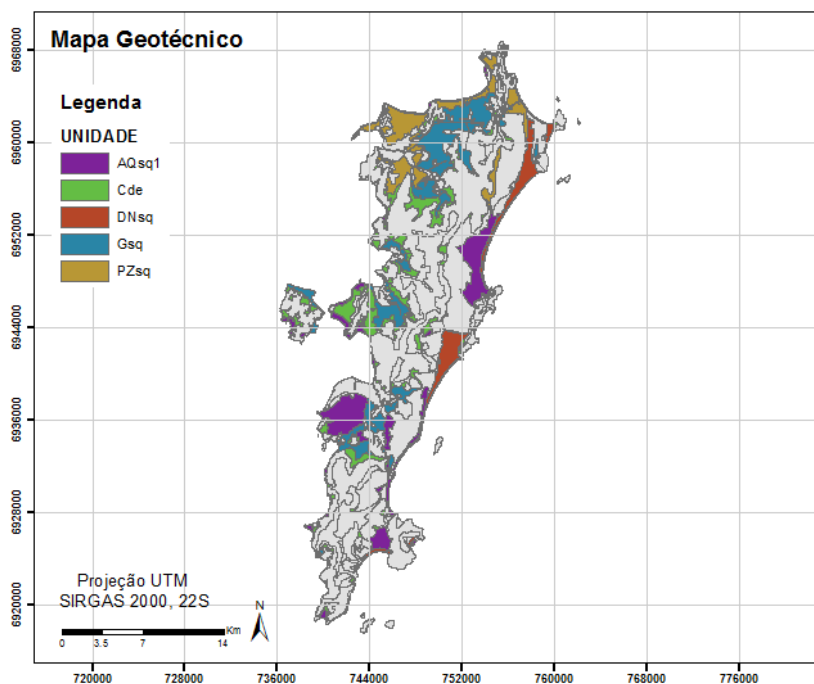


Figura 1. Mapa geotécnico da Ilha de Santa Catarina com as unidades geotécnicas analisadas.

2.2. Caracterização geológica e geotécnica

Em relação a Cobertura Sedimentar Quaternária da planície costeira do estado de Santa Catarina, segundo Koerich et al. (1991), ocorrem depósitos marinhos, aluvionares, lagunares, eólicos e coluvionares. Na Ilha de Santa Catarina, por sua vez, de acordo com o mapa geotécnico de Santos

(1997), a cobertura sedimentar é formada por oito unidades geotécnicas, dentre as quais, as unidades AQsq1, Cde, DNSq, PZsq e Gsq foram selecionadas para a estimativa do recalque.

De acordo com Santos (1997), os solos da unidade AQsq1 são formados pela associação das seguintes classes de solos: Areias Quartzosas Hidromórficas, Areias Quartzosas Marinhas, Podzólico e Glei. Apresentam alto grau de hidromorfismo, com lençol freático localizado próximo ou à superfície do solo. Apresentam um elevado teor de areia fina com silte no horizonte superficial, onde também se encontra uma porcentagem relativamente alta de matéria orgânica.

Quanto a unidade Cde, ocorre em região de relevo suave ondulado, apresentando uma associação de Cambissolo com textura arenosa e média, Plintossolo com textura arenosa e média e Podzólico Vermelho Amarelo com textura média argilosa (SANTOS, 1997). A drenagem do Cambissolo oscila entre acentuada até imperfeita. A unidade DNSq é formada pela associação de Dunas e Areias Marinhas com substrato sedimentos quaternários. São solos que originaram-se quase que exclusivamente de deposições eólicas de material arenoso-quartzoso. São formadas por perfis profundos, homogêneos e sem estrutura de origem pedológica (SANTOS, 1997).

A unidade PZsq compreende a classe dos solos Podzol Hidromórficos e Areias Quartzosas Hidromórficas com substrato sedimentos quaternários. São solos minerais, hidromórficos, ácidos e com predominância de textura arenosa ao longo de todo perfil (SANTOS, 1997). Ocorrem em áreas de relevo plano. Em Gsq, foram reunidos solos do tipo Glei associados às Areias Quartzosas Hidromórficas e à Solos Orgânicos, com substrato sedimentos quaternários, de textura argilosa, siltosa e média. Ocorrem em áreas de relevo plano e apresentam argila de atividade alta, indicando a ocorrência de expansão e contração em função da variação de umidade (SANTOS, 1997).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Elaboração do banco de dados e de equações de correlação

Foram coletados, de pesquisas anteriores, parâmetros geotécnicos relacionados aos solos moles de regiões litorâneas do estado de Santa Catarina (abrangendo desde o litoral norte até o litoral sul) dando ênfase ao município de Florianópolis. O conjunto desses dados foram compilados em um banco de dados georreferenciado, a partir do *software* ArcGis, o que possibilitou a caracterização de unidades geotécnicas da Ilha de Santa Catarina e a elaboração de equações de correlações. Tais equações foram elaboradas utilizando somente os dados relacionados ao município de Florianópolis, visando a estimativa do recalque por adensamento primário dos solos dessa região.

Os parâmetros dos solos considerados na elaboração do banco de dados foram os seguintes: índice de vazios (e), teor de umidade (w), N_{SPT} médio, coeficiente de compressibilidade (C_c), razão de compressão (CR), coeficiente de adensamento (C_v), limite de liquidez (LL); limite de plasticidade (LP), índice de plasticidade (IP); peso específico natural (Y); tensão de pré-adensamento (σ'_p), razão de pré adensamento (OCR).

Na busca de equações de correlações, com o auxílio do *software* Excel, foram relacionados os seguintes parâmetros geotécnicos: (e) e w , (e) e CR , (e) e LL , (e) e IP , (e) e γ_{nat} , (e) e C_v , (e) e C_c , C_c e w , C_c e CR , C_c e LL , C_c e IP , C_c e γ_{nat} , C_c e C_v , C_c e e , CR e LL , CR e IP , CR e C_v , CR e w , CR e γ_{nat} , CR e C_c , CR e (e). Para tanto, foram elaborados gráficos onde a variável Y foi representada pelos parâmetros (e), C_c e CR , e a variável X foi representada pelos demais parâmetros. De acordo com o limite proposto por Karunaprema e Edirisingh (2005 *apud* HIGASHI, 2006), somente as relações com r^2 superior a 0,5 foram consideradas satisfatórias.

3.2. Cálculo do recalque por adensamento primário (ρ)

Inicialmente foram selecionados os perfis de solos para os cálculos dos recalques. Para tanto, foram analisadas sondagens do tipo SPT, previamente locadas sobre o mapa geotécnico da Ilha de Santa Catarina, em ambiente SIG (*software* ArcGis), pela equipe do LAMGEO (Laboratório de Mapeamento Geotécnico da UFSC).

Para a escolha dos perfis de SPT foi determinada a profundidade de influência do bulbo tensões (z) adotando uma sapata tipo estabelecida por Fabrin (2017) e seguindo as premissas de Cintra et al (2011). Trata-se de uma sapata isolada de base quadrada (B), cujo valor de B é igual a 1,5 m e a altura de embutimento (h) é igual a 1 metro (conforme recomendação da norma NBR 6122/1996). Sabendo-se que, para sapatas de base quadrada, 90% da propagação da tensão no solo ocorre até a profundidade equivalente a duas vezes a dimensão da sua base (B), a profundidade de influência do bulbo de tensões (z) para B igual a 1,5m corresponde a 3,0m abaixo da base da sapata. Sedo assim, para cada SPT foram analisadas as camadas de solo até a profundidade de 3m a partir da quota de embutimento da sapata (igual a 1m).

Foram selecionados os perfis de SPT cujas características dos solos até a profundidade de 4m foram as seguintes: textura argilosa ou predominantemente argilosa, NSPT entre 1 e 5 (caracterizando solos de consistência muito mole e mole de acordo com a NBR 7250/1982) e nível d'água abaixo de 1m de profundidade (visando diminuir o custo de execução da sapata). Além disso, foram desconsiderados os perfis formados por camadas de aterros, por tratar-se de um solo que pode estar em processo de adensamento (OCR menor do que 1), e aqueles onde houve a intercalação entre camadas de areia e argila. Na sequência, foram calculados os recalques para as camadas de solo quando submetidas à carga imposta pela sapata tipo a partir da equação (1). Ao utilizar essa equação, considerou-se que as argilas se encontram no estado mais crítico, ou seja, no estado normalmente adensado (NA), onde o OCR é igual a 1.

$$\rho = H \times \frac{C_c}{1+e} \times \log \frac{\sigma'_f}{\sigma'_i} \quad (1)$$

Onde H é a espessura da camada de solo mole ou muito mole em metros, Cc é o índice de compressão (adimensional), e é o índice de vazios (adimensional), σ'_i é a tensão efetiva inicial em kN/m² e σ'_f é a tensão efetiva final em kN/m².

Para determinar as variáveis que compõem a equação (1) foram utilizadas correlações propostas nesse estudo e propostas por outros autores. Na determinação do Cc foi adotada a equação (2) de Higashi (2006), cujo r² é de 0,90.

$$C_c = 0,3821e - 0,21 \quad (2)$$

Onde o e (índice de vazios) foi determinado a partir da equação (3), proposta pelas correlações desse estudo, cujo r² é de 0,90.

$$e = -1,4628 \gamma_{argila} + 23,906 \quad (3)$$

Onde o γ_{argila} é o peso específico mais crítico da camada de solo mole ou muito mole, em kN/m³. O γ_{argila} foi determinado com base na proposta de Godoy (1972 apud Cintra et al., 2011) apresentada na Tabela 1, utilizando o menor valor de NSPT até a profundidade de 4m, representando o solo menos resistente.

Tabela 1 - Peso específico de solos argilosos e arenosos segundo Godoy (1972).

Peso específico de solos argilosos			Peso específico de solos arenosos		
NSPT	Consistência	Peso Específico - Y (kN/m ³)	NSPT	Compacidade	Peso Específico -Y (kN/m ³)
≤2	Muito mole	13	<5	Fofa	13
3-5	Mole	15	5-8	Pouco Compacta	15
6-10	Média	17	9-18	Medianamente Compacta	17
11-19	Rija	19	19-40	Compacta	19
≥20	Dura	21	≥40	Muito Compacta	21

Fonte: Cintra et al. (2011).

A tensão efetiva inicial (σ'_i) representa o valor da tensão atuante sobre a camada de solo mole ou muito mole sem considerar o efeito da sapata tipo e foi calculada conforme apresentado na equação (4). Essa tensão foi calculada no meio da camada de solo mole ou muito mole.

$$\sigma'_i = (\gamma_{argila} \times z_{argila}) - (\gamma_w \times h_w) \quad (4)$$

Onde z_{argila} é a espessura da camada de solo mole ou muito mole em metros, γ_w é o peso específico da água, considerado igual a 10 kN/m³ e z_w é altura da coluna d'água em metros.

Em perfis de SPT onde foram identificadas camadas de solo drenante acima da camada de solo mole ou muito mole (representando uma sobrecarga) a σ'_i foi calculada a partir da equação (5).

$$\sigma'_i = (\gamma_{argila} \times z_{argila}) + (\gamma_{areia} \times z_{areia}) - (\gamma_w \times h_w) \quad (5)$$

Onde o γ_{areia} é o peso específico da camada drenante, determinado segundo a Tabela 1 e z_{areia} é a espessura da camada drenante em metros. No cálculo da σ'_i , adotou-se ainda, para o primeiro metro de solo onde não há dados de NSPT peso específico (γ) igual ao da camada subjacente.

A tensão efetiva final (σ'_f) foi determinada a partir da soma da σ'_i e da tensão aplicada pela sapata tipo (σ_{sapata}), conforme apresentado na equação 6. Onde a σ_{sapata} é igual a 17,79 kN/m².

$$\sigma'_f = \sigma'_i + \sigma_{aplicada} \quad (6)$$

Após a estimativa dos recalques, os resultados foram relacionados as unidades geotécnicas da Ilha de Santa Catarina para a caracterização daquelas de origem sedimentar, cujos perfis de SPT foram selecionados.

4. RESULTADOS

A compilação de parâmetros geotécnicos relacionados aos solos moles de municípios de Santa Catarina, em um banco de dados em SIG, possibilitou a verificação da variação de parâmetros necessários à estimativa do recalque nessas regiões, tais como: índice de vazios (e), coeficiente de compressibilidade (Cc) e razão de compressão (CR). Na Tabela 2, são apresentadas as regiões de Santa Catarina analisadas com a respectiva variação e média dos parâmetros de interesse.

Tabela 2 - Variação dos parâmetros de interesse para as regiões de Santa Catarina.

Região de SC	Autores	Valores	e_0	Cc	CR
Florianópolis	Santos (1997); Moura (2004); Oliveira (2006); Maccarini e Oliveira (2001); Espíndola (2011).	Mínimo	2,087	0,54	0,100
		Médio	3,29	2,77	0,3155
		Máximo	4,5	5,0	0,531
Sul	Higashi (2006); Chaves e Orsi (2007); Massoco (2013).	Mínimo	1,27	0,25	0,097
		Médio	5,01	1,685	0,317
		Máximo	8,75	3,12	0,537
Norte	Moura (2004); Telissari (2011); Marques e Lacerda (2004).	Mínimo	0,96	0,1	0,09
		Médio	1,89	0,635	0,23
		Máximo	2,82	1,17	0,37
Leste	Drösemeyer, Maccarini et al (2001).	Mínimo	0,71	0,09	0,05
		Médio	2,47	1,33	0,314
		Máximo	4,23	2,57	0,578

Observa-se que, para o município de Florianópolis, o índice de vazios (e) ficou compreendido entre 2,087 e 4,5. Nas demais regiões de Santa Catarina, esse parâmetro variou entre 0,71 e 8,75. O parâmetro Cc para Florianópolis, variou entre 0,54 e 5,0. Para as demais regiões ficou compreendido entre 0,09 e 3,12. O parâmetro CR, em Florianópolis variou entre 0,1 e 0,531 e em todas as outras regiões encontra-se entre o intervalo de 0,05 e 0,578.

Para que fosse possível calcular o recalque em unidades geotécnicas sedimentares de Florianópolis a partir dos dados disponíveis (SPT e aqueles compilados no bando de dados), buscou-se relacionar o índice de vazios (e), o Cc e o CR à outros parâmetros dos solos desse município. Sendo assim, foram elaboradas as equações de correlação apresentadas na Tabela 3 com o seu respectivo r^2 e o número de dados empregados na sua elaboração.

Em relação ao r^2 , notou-se que determinados parâmetros dos solos não apresentaram correlação (r^2 igual 0) ou apresentaram coeficientes entre 0,01 e 0,50. Nesse estudo não foi encontrada relação entre a razão de compressão (CR) e o coeficiente de adensamento (Cv). Dentre

as vinte e uma equações elaboradas, seis parâmetros ao serem relacionados apresentaram coeficientes superiores a 0,5, mostrando-se adequadas de acordo com Karunaprema e Edirisingh (2005 *apud* HIGASHI, 2006). Foram obtidas equações com r^2 superior a 0,5 para os três parâmetros de interesse: e, Cc e CR.

Tabela 3 – Equações de correlação entre os dados do banco de dados do município de Florianópolis.

Equação	r^2	Número de dados	Equação	r^2	Número de dados
$e=0,0231w+0,3329$	0,99	16	$Cc=-0,1273Y+3,0643$	0,04	20
$e=0,4317CR+2,6129$	0,01	16	$Cc=0,0018Cv+0,8143$	0,02	8
$e=0,0149LL+1,9332$	0,50	16	$Cc=0,4463e+0,0507$	0,34	16
$e=0,0226IP+1,6706$	0,60	16	$CR=0,0019LL+0,19$	0,52	19
$e=-1,4628Y+23,906$	0,90	16	$CR=0,002IP+0,2526$	0,15	19
$e=0,0067Cv+3,2224$	0,33	8	$CR=-0,00005CV+0,3237$	0,00	8
$e=0,7662Cc+1,7762$	0,34	16	$CR=-0,0008w+0,4177$	0,04	20
$Cc=0,0052w+0,6922$	0,11	20	$CR=0,0349Y-0,1717$	0,04	20
$Cc=3,1459CR+0,1689$	0,69	20	$CR=0,2194Cc+0,0663$	0,69	20
$Cc=0,0067LL+0,689$	0,43	19	$CR=0,0146e+0,2965$	0,10	16
$Cc=0,0138IP+0,6043$	0,46	19			

De uma forma geral, as relações envolvendo o índice de vazios (e) apresentaram coeficientes de correlação mais altos, quando comparadas aqueles obtidos para o Cc e para o CR. Ao relacionar o índice de vazios (e) com a umidade (w) e com o peso específico (γ) foram identificados r^2 próximos a 1 (igual e superior a 0,90). Encontrou-se, entretanto, uma maior relação entre o índice de vazios (e) e a w (r^2 igual 0,99). Como pode ser observado na Figura 2 outros autores também encontraram relações próximos a 1 para os parâmetros mencionados.

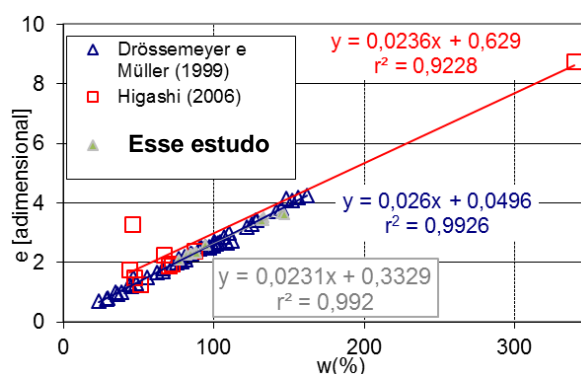


Figura 2. Relação entre o índice de vazios (e) e a umidade (w) para diferentes autores.

Em relação as sondagens SPT selecionadas para os cálculos do recalque, a Tabela 4 apresenta o número de perfis analisados em cada uma das unidades geotécnicas em estudo. Até a profundidade de 4 m, foram identificados perfis de solos argilosos de consistência mole a muito mole, cuja granulometria variou entre argila e argila com silte, com areia, com detritos vegetais, matéria orgânica e fósseis marinhos. Além de argilas, ocorreram em determinados SPT, nos extremos dos perfis (acima ou abaixo da camada compressível) camadas de areia fina a grossa, areia com argila, areia com silte e silte com areia, onde o recalque não foi calculado uma vez que a equação utilizada nesse estudo (equação 1) não se aplica para esse tipo de solo.

Tabela 4 – Quantidade de SPT em cada unidade geotécnica.

Unidade Geotécnica	Quantidade de perfis	Unidade Geotécnica	Quantidade de perfis
AQsq1	5	DNsq	7
Cde	7	PZsq	2
		Gsq	1

Para cada perfil de solo selecionado foi determinado a espessura da camada compressível (H), o peso específico das camadas (γ), a tensão efetiva inicial (σ'_i), a tensão efetiva final (σ'_f), o índice de vazios (e) e o coeficiente de compressibilidade (Cc), para então ser estimado o recalque (ρ) devido ao carregamento imposto por uma sapata tipo (17,78 kN/m²). Os resultados obtidos por unidade geotécnica são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados de γ , H, e, Cc, σ'_i , σ'_f e ρ para as unidades geotécnicas analisadas.

Unid. Geotéc.	γ_{arg} [kN/m ³]	H [m]	e	Cc	σ'_i [kN/m ²]	σ'_f [kN/m ²]	ρ [mm]	ρ médio [mm]
AQsq1	15	1,0	1,96	0,54	39,50	57,28	30	118,00
	13	1,0	4,89	1,66	14,50	32,28	100	
	13	2,0	4,89	1,66	16,00	33,78	180	
	13	2,0	4,89	1,66	16,00	33,78	180	
	13	1,0	4,89	1,66	14,50	32,28	100	
Cde	13	1,0	1,96	0,54	27,50	45,28	40	118,60
	13	3,0	4,89	1,66	17,50	35,28	260	
	13	1,0	4,89	1,66	38,50	56,28	50	
	15	3,0	1,96	0,54	22,50	40,28	140	
	15	1,0	1,96	0,54	39,50	57,28	30	
	13	3,0	4,89	1,66	17,50	35,28	260	
	13	1,0	4,89	1,66	38,50	56,28	50	
DNsq	13	1,0	4,89	1,66	14,50	32,28	100	107,14
	13	2,0	4,89	1,66	31,00	48,78	110	
	15	2,0	1,96	0,54	33,00	50,78	70	
	13	1,0	4,89	1,66	38,50	56,28	50	
	15	1,0	1,96	0,54	17,50	35,28	60	
	13	1,0	4,89	1,66	14,50	32,28	100	
	13	3,0	4,89	1,66	17,50	35,28	260	
Gsq	13	1,0	4,89	1,66	45,50	63,28	40	40,00
PZsq	13	3,0	4,89	1,66	17,50	35,28	257	153,30
	13	1,0	4,89	1,66	38,5	56,28	50	

Em relação ao índice de vazios (e), observou-se que os valores determinados por correlação (Tabela 5) aproximaram-se daqueles encontrados para os solos de Florianópolis. Também encontraram-se dentro do intervalo obtido para os solos das demais regiões de Santa Catarina, da mesma forma que os dois valores calculados para o parâmetro Cc.

Na determinação do recalque, foram identificados os maiores valores (na ordem de 260mm) nas unidades geotécnicas PZsq, DNsq, Cde, em perfis com 3m de camada de solo compressível. Em perfis com 2m de camada de solo compressível o maior recalque ocorreu na unidade AQsq1 (180mm). Em 1m de camada de solo compressível nas unidades AQsq1 e DNsq, na ordem de 100mm. De uma forma geral, com exceção da unidade Gsq, as demais unidades apresentaram na estimativa do recalque (em pelo menos um perfil analisado) valores superiores ao limite recomendado em Cintra et al. (2011), que, para sapatas isoladas, corresponde a 65mm.

5. CONCLUSÕES

Realizou-se nesse estudo a compilação de um banco de dados georreferenciado contendo parâmetros físicos e de compressibilidade de solos moles presentes em regiões litorâneas do estado de Santa Catarina, especialmente em Florianópolis, para gerar equações de correlação que possibilitassem a estimativa do recalque a partir de dados de SPT. Com isso, foram geradas equações com coeficientes de correlação (r^2) satisfatórios, que podem ser utilizadas em outros estudos envolvendo solos semelhantes aos solos analisados. É importante destacar que os parâmetros obtidos para o município de Florianópolis utilizando as equações de correlação (índice de vazios e coeficiente de compressibilidade) apresentaram valores aproximados àqueles das

demais regiões do estado de Santa Catarina determinados a partir de ensaios. No entanto, salienta-se a necessidade da realização de ensaios, principalmente em estudos ou projetos que não são preliminares, para a verificação dos resultados obtidos por meio das equações de correlação.

Os recalques estimados até a profundidade de 4m, a partir da metodologia proposta neste estudo, possibilitaram a estimativa do comportamento de compressibilidade dos solos presentes em unidades geotécnicas sedimentares do município de Florianópolis, caracterizando-as de forma espacial. Foram analisadas as seguintes unidades individualizadas no mapa geotécnico da Ilha de Santa Catarina: Areias Quartzosas Hidromórficas com substrato sedimentos quaternários (AQsq1), Cambissolo com substrato depósito de encosta (Cde), Dunas com substrato sedimentos quaternários (DNsq), Solo PodzolHidromórfico com substrato sedimentos quaternários (PZsq) e Glei com substrato sedimentos quaternários (Gsq).

Com exceção da unidade Gsq, as demais apresentaram em função do carregamento imposto por uma sapata isolada, recalques superiores a 65mm (limite recomendado em CINTRA et al, 2001), em pelo menos um perfil investigado. Em perfis presentes nas unidades PZsq, DNsq, Cde foram obtidos recalques na ordem 260mm, valor máximo estimado para a área de estudos. Entretanto, a unidade PZsq foi a que apresentou a maior média de recalque (valor médio estimado em 153,30mm). Dessa forma, os solos presentes nessas unidades foram caracterizados em termos de ocorrência de recalque por adensamento primário, identificando aqueles onde a sua ocorrência é mais crítica e pode vir a representar um problema para o uso e ocupação do solo, auxiliando no planejamento do processo de expansão urbana.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Mapeamento Geotécnico (LAMGEO) da UFSC, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFSC (PPGEC), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPQ).

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122 (1986) “Solo – Projeto de execução de fundações”, Rio de Janeiro: ABNT.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12007 (1990) “Solo – Ensaio de adensamento unidimensional”, Rio de Janeiro: ABNT.
- BARAN, K. R. (2014) “Propriedades Geotécnicas de Compressibilidade de uma Argila Mole de Itajaí-SC”, Universidade Federal de Santa Catarina.
- BASTOS, C. A. B.; VALENTE, A. L. S.; STRIEDER, A; BUFFON, S. A.; STUMPF, L.; QUADROS, T. F. P.; BICA, A. V. B.; BRESSANI, L. A. (2004). “Mapeamento Geotécnico como Subsídio ao Monitoramento e Previsão de Riscos Geotécnicos em Obra de Tubulação de Gás Natural” 5º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. Anais... São Carlos/SP, p 091-099.
- CARVALHO, N. F. (2000) “Características geotécnicas da argila mole da rodovia BR 101 em Santa Catarina”, 127 f. Dissertação de Mestrado, Puc-Rio, Rio de Janeiro.
- CHAVES. P.O.; ORSI. J.Z. (2007) “Avaliação geotécnica de aterro sobre solos moles considerando a segurança do gasoduto as margens da BR-101 em Tubarão/SC.” 97f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- CINTRA, J. C. A.; AOKI, N.; ALBIERO, J. H. (2001) “Fundações diretas: projetos geotécnicos.” São Paulo: Oficina de Textos.
- COSTA FILHO. L. M.; ARAGÃO. C. J. G.; VELOSO. P. P. C. (1985) “Características Geotécnicas de Alguns depósitos de argila mole na área do Grande Rio de Janeiro.” Revista Solos e Rochas. São Paulo. Vol. 8. n.1. pg 03-13.
- COUTINHO, R. Q.; OLIVEIRA, J. T. R. (1994) “Propriedades geotécnicas das argilas moles do Recife” in: X COBRAMSEG, Foz de Iguçu, PR, ABMS. Anais, Vol 2. p. 563-572.

- DAS, B. M. (2013) *“Fundamentos de Engenharia Geotécnica”*, 7. ed. ed. São Paulo: Cengage Learning.
- DAVISON DIAS, R. (1995) *“Proposta de metodologia de definição de carta geotécnica básica em regiões tropicais e subtropicais”* in: Revista do Instituto Geológico, São Paulo, SP, p.51-55.
- DRÖSEMAYER, A.; MÜLLER, R. OLIVIERA, H. M.; MACCARINI, M.; RAIMUNDO, H. A. (2001) *“Propriedades Geotécnicas de Solos Moles do Litoral de Santa Catarina.”* in: Encontro de Propriedades de Argilas Moles Brasileiras. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro p. 101-115
- ESPINDOLA, M. DA S. (2011) *“Análise dos parâmetros geotécnicos dos solos moles da obra de ampliação do Aeroporto Internacional Hercílio Luz”*, Universidade Federal de Santa Catarina.
- FABRIN, A. (2017) *“Uso de Banco de Dados com Aplicações de Correlações para a Estimativa de Parâmetros Geotécnicos de Argilas Moles de Florianópolis/SC”*, Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.
- HIGASHI, R. A. DOS R. (2006) *“Metodologia de Uso e Ocupação dos Solos de Cidades Costeiras Brasileiras Através de SIG com Base no Comportamento Geotécnico e Ambiental”*, Universidade Federal de Santa Catarina.
- KOERICH, A.; NASCIMENTO, A. DO; TRAMONTIN, C.; et al. (1991) *“Atlas escolar de Santa Catarina”*, Secretaria de Estado de Coordenação Geral e Planejamento, Subsecretaria de Estados Geográficos e Estatísticos. Rio de Janeiro, Aerofoto Cruzeiro.
- MACCARINI, M. OLIVEIRA, H. M. (2001) *“Caracterização Geotécnica de um Depósito de Argila Mole em Santa Catarina.”* in: Encontro de Propriedades de Argilas Moles Brasileiras. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: p. 79-100
- MARQUES, M.E.S.; LACERDA, W.A. (2004) *“Caracterização geotécnica de um depósito argiloso fluvio-marinho em navegantes-SC.”* in: GEOSUL – IV SIMPÓSIO DE PRÁTICA DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA DA REGIÃO SUL. Anais... Curitiba. ABMS. P. 31-38.
- MASSOCCO, N. S. (2013) *“Determinação de Parâmetros de Compressibilidade e de Resistência não Drenada de Argila Mole - Estudo de Caso.”*, Florianópolis.
- MORETTIN, P. A.; BUSSAD, W. O. (2012) *“Estatística Básica.”* 7. ed. ed. São Paulo: Saraiva.
- MOURA, A. P. DE. (2004) *“Adensamento com Velocidade Controlada de Deformação (CRS): Desenvolvimento do Equipamento e Realização de Ensaio em Solos Moles do Leste de Santa Catarina”*, Universidade Federal de Santa Catarina.
- OLIVEIRA, H. M. DE. (2006) *“Comportamento de Aterros Reforçados Sobre Solos Moles Levados à Ruptura”*, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- ORTIGÃO, J. A. R. (1995) *“Introdução à Mecânica dos Solos dos Estados Críticos”*, 2. ed. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos.
- PAREDES, E. A. (1994) *“Sistema de informação geográfica geoprocessamento: princípios e aplicações”* São Paulo: Erica. 675p
- PINTO, C. DE S. (2000) *“Curso Básico de Mecânica dos Solos”*, São Paulo: Oficina de Textos.
- SANTOS, G. T. (1997) *“Integração de informações pedológicas, geológicas e geotécnicas aplicadas ao uso do solo urbano em obras de engenharia”*, Tese (doutorado) em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- TEIXEIRA, A. H.; GODOY, N. S. DE. (1998) *“Análise, projeto e execução de fundações rasas”* in: W. Hachich; F. F. Falconi; J. L. Saes; et al. (Orgs.); *Fundações Teoria e Prática*. Pini ed., p.762.
- TELISSARI, L.S. (2011) *“Estudo do Comportamento de Aterro sobre Solo Mole – Estudo de Caso – Aeroporto de Joinville.”*, Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) Universidade do Vale do Itajaí. Itajaí, SC.
- YUAÇA, F. (2003) *“Tutorial GIS para prefeituras”*, 40p.