

ANÁLISE COMPORTAMENTAL DE DESLOCAMENTOS VERTICAIS EM SOLOS MOLES PARA DETERMINAÇÃO DO TRATAMENTO E FUNDAÇÃO IDEAIS

Leonardo Chaves Bolentine

Universidade Evangélica de Goiás - UniEVANGÉLICA. leobolentini@hotmail.com

Thaila Santos de Santana

Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA. thailasantos18@hotmail.com

Jéssica Nayara Dias

Universidade Evangélica de Goiás - UniEVANGÉLICA. jessicadias.engenharia@gmail.com

Resumo

O recalque atuante em solos coesivos é um dos maiores problemas da engenharia, visto que as propriedades de alto adensamento e compressibilidade das argilas provocam variações de volume no solo, visíveis na edificação na forma de fissuras, trincas e rachaduras. Como solução, existem técnicas de tratamento de solo que viabilizam a construção em qualquer tipo de terreno devido ao aumento de resistência e rigidez. O presente estudo visou a avaliação dos dados fornecidos por empresas geotécnicas através de software de simulação gráfica da interação solo-estrutura considerando uma edificação hipotética definida pelos autores. Os resultados obtidos serviram como base para a sugestão do melhor tipo de tratamento de solo e fundações ideais. Para tanto, foi utilizado a ferramenta de processamento de dados PLAXIS 2D, para análise bidimensional da deformação e estabilidade dos solos. Os parâmetros inseridos em sua interface foram extraídos de ensaios em um solo predominantemente muito mole, de argila silto-arenosa, com presença de matéria orgânica cinza escura na faixa de 6m a 11,75m. Os resultados previstos são as variações de deslocamentos verticais, poropressões e tensões atuantes ao longo do tempo no maciço de solo estudado. Comprovada a inviabilidade de construção nessa camada do solo, será indicada a utilização de geodrenos verticais para drenagem da água presente no meio. Por efeito da aceleração dos recalques, a fundação rasa atenderá aos requisitos de segurança do projeto para suportar as cargas da estrutura.

Palavras-Chave: Solo mole; recalque; tratamento de solo; fundação.

1 Introdução

Dentro do contexto da engenharia civil, o solo é basicamente responsável pela sustentação de toda e qualquer construção, já que o mesmo absorve integralmente as cargas solicitantes oriundas das edificações. Para cada tipo de composição, o solo apresenta um comportamento de adensamento e compactação diferente, sendo as areias possuidoras das características ideais para suportar os carregamentos aplicados. Isso porque o arranjo granulométrico dos grãos dos solos não-coesivos permite maior permeabilidade, o que contribui para a maior resistência e rigidez do solo, dificultando o processo de compressibilidade responsável pela variação volumétrica do maciço de terra (MARANGON, 2018).

Contudo, conforme a densidade demográfica aumenta nos centros urbanos, cresce paralelamente a procura por espaços livres para habitação, e com o passar dos anos torna-se mais difícil encontrar solos adequados para construir, de forma que a quantidade de áreas edificáveis disponíveis não consegue atender a demanda de obras civis. Surge assim, a necessidade de buscar novas soluções de uso e ocupação de solo, com o intuito de viabilizar a construção sobre terrenos com depósitos argilosos (NOGUEIRA, 2010).

A partir do conhecimento geotécnico, os solos moles, antes considerados inutilizáveis, passam a ser aproveitados mediante dimensionamento de soluções construtivas adequadas para cada região e fundação ideais. Por definição, esse tipo de solo apresenta baixo teor de vazios e permeabilidade, alta compressibilidade, variando sua resistência e plasticidade de acordo com a umidade presente no solo (TONIN, 2013). Em consequência, quando esse solo é submetido a ações de cargas axiais apresenta comportamento altamente compressível, diminuindo a resistência mecânica e provocando recalque em função do tempo (MENESES, 2004).

O recalque é resultado da variação de volume do solo e seu agravamento é visível na edificação na forma de fissuras, trincas e rachaduras, a depender do grau de deslocamento do solo (SUN et al, 2020). Para solucionar esse problema, existem técnicas de tratamentos de solo voltadas para melhoria das propriedades físicas do solo, como por exemplo, a execução de aterros, substituição de solo, sobrecarga temporária, implementação de geodrenos, colunas de brita, ou CPR Grouting (GALLINA; KRENN; SCHÄFER, 2016).

A intervenção através de tecnologias construtivas contribui positivamente para a engenharia civil, por isso há necessidade de profissionais capacitados e qualificados para executá-las. Contudo, nem sempre se encontra mão de obra competente e/ou equipamentos específicos disponíveis, aumentando os custos com tratamentos de solo e dificultando sua adoção em obras de pequeno porte (FERREIRA, 2017). Como resultado, essas áreas de solo mole ficarão ociosas, prejudicando o crescimento urbano até que encontrem responsáveis legais dispostos a sanar com êxito a problemática.

A realização do tratamento do solo ainda na etapa de movimentação de terra, anteriormente a qualquer processo construtivo, está diretamente relacionada com a relação custo-benefício, pois permite a correção de possíveis patologias estruturais causadas pela interação solo-estrutura (GERSCOVICH, 2013).

A escolha apropriada do método mais eficaz de modificação do meio argiloso é feita com base em ensaios de caracterização, sondagem, compactação, adensamento, permeabilidade e resistência. Dessa maneira, esses estudos fornecem parâmetros necessários para o dimensionamento da fundação, divididas em rasas (até três metros) e profundas (a partir de três metros de profundidade). A eleição do melhor elemento estrutural é importante para redistribuição adequada das tensões geradas pelos esforços solicitantes, prevendo possíveis colapsos devido aos recalques (BARROS, 2011).

Nesse sentido, o objetivo do presente estudo é avaliar os dados de classificação e principais características de um solo mole através da análise de dados fornecidos por empresas da área geotécnica, para determinar o tratamento de solo e o tipo de fundação ideal a ser utilizada para uma edificação padrão médio, por meio de um estudo de caso.

2 Metodologia

Trata-se de um estudo de caso, cujos dados foram disponibilizados por empresas da área de geotecnia, que realizaram os ensaios previamente para clientes. Com esses dados, foi possível levantar o perfil do solo mole, para embasar os cálculos de recalque e as investigações acerca dos efeitos gerados nas fundações. Os dados mencionados foram obtidos mediante a realização de ensaios específicos em solos por parte das empresas.

2.1 Software PLAXIS 2D

2.1.1 Apresentação do programa

Para análise do comportamento do solo, os parâmetros foram inseridos no software PLAXIS 2D (Finite Element Code for Soil and Rock Analyse), que é uma ferramenta de análise bidimensional de solos e rochas utilizando Método dos Elementos Finitos (MEF) para processamento das informações inseridas. Inicialmente criada pela Technical University of Delft na Holanda em 1987, para investigação simplificada de solos na região. O programa ficou disponível para comercialização por cerca de três décadas, quando a plataforma foi adquirida e aprimorada pela empresa Bentley Systems no ano de 2018 (Bentley, 2018).

Idealizada para empresas de engenharia do ramo civil, geotécnico e mecânico, permitindo aos usuários modelagens numéricas precisas para projetos diversos da geoengenharia, permitindo análises dinâmicas de fluxos em diferentes condições de interação ambiente-estrutura (BELAN, 2018).

Os cálculos são realizados por meio da linguagem de programação *Python*, responsável pela rotina de computação das equações matemáticas e comparação dos resultados para filtrar as variáveis discrepantes. Esse processo garante a confiabilidade das informações calculadas, possibilitando análises próximas da realidade (FLORENCIO, 2018).

A interface inicial do software (Figura 1) solicita a inserção do título do arquivo, bem como informações de unidades de medida, para se adequar aos requisitos necessários de cada projeto. Na extremidade inferior da tela, encontra-se o campo de inspeção dos elementos do código-fonte em tempo real de acordo com a ação do usuário. Já no canto superior esquerdo, estão dispostas as abas de navegação do programa.

Figura 1: Interface inicial do programa PLAXIS 2D

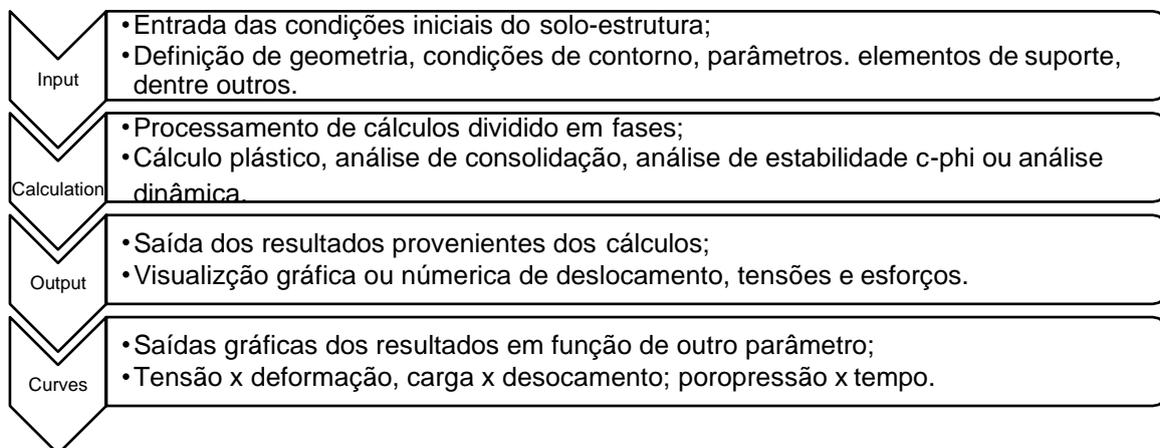


Fonte: Dos autores (2021).

2.1.2 Análise de dados

O cálculo de dados é feito em quatro etapas subdivididas no programa: Input, Calculation, Output e Curves (Figura 2), com a finalidade de obter a modelagem do maciço antes, durante e depois da aplicação do carregamento, prevendo a deformação na geometria da malha do solo. Essa malha de elementos finitos é gerada a partir de triângulos com parametrização idêntica, usando seis ou quinze pontos nodais. É possível refiná-la para observar os pontos críticos do solo, sendo que quanto maior o número de nós, mais intensificada será a malha (CARVALHO, 2016). A simulação irá retornar graficamente as variações de deslocamento vertical, poropressões e tensões atuantes ao longo do tempo, obtendo resultados próximos da realidade.

Figura 2: Esquema sequencial de cálculos no PLAXIS 2D

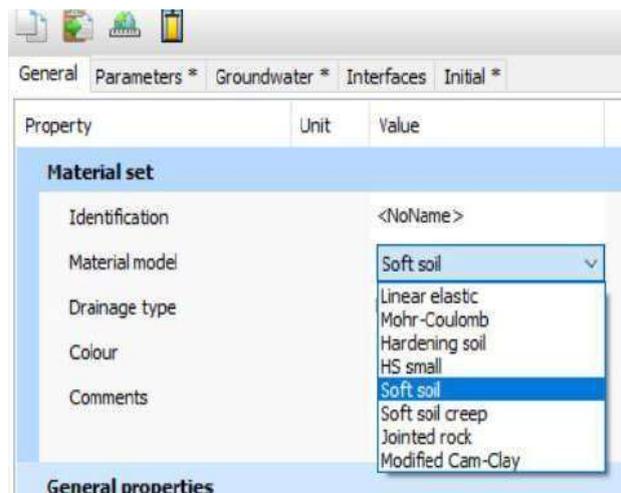


Fonte: Dos autores (2021).

2.1.3 Modelo numérico constitutivo

No processo de cálculo, é preciso selecionar o tipo de modelo teórico (Figura 3) que descreve com maior proximidade as características e comportamento do material do elemento. No presente trabalho, os solos com média consistência foram representados pelo modelo Mohr-Coulomb, caracterizado como linear elástico perfeitamente plástico, onde há existência de tensão de escoamento bem definida. Já para os solos moles utilizou-se o modelo Soft Soil, que corresponde às propriedades de alta compressibilidade, de resistência e rigidez conforme as poropressões e tensões no solo, e de estado crítico de deformação (BEZERRA, 2018).

Figura 3: Modelos constitutivos disponíveis no PLAXIS 2D.



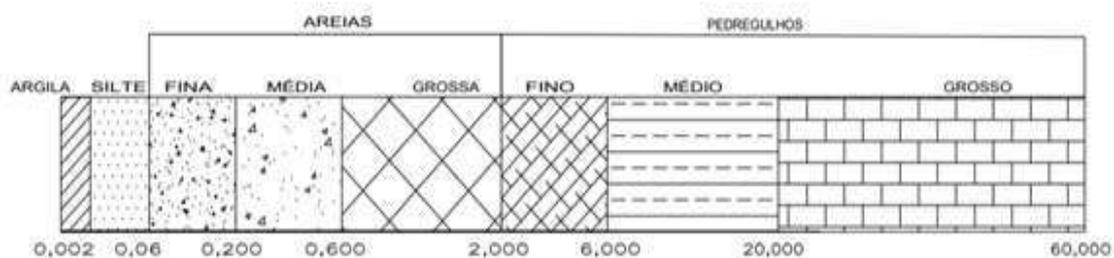
Fonte: Dos autores (2021).

2.2 Levantamento do solo

2.2.1 Caracterização da amostra

Para caracterização do solo foi utilizada a escala granulométrica da NBR 6502 (ABNT, 1995), conforme Figura 4, que permite definir a fração de sólidos de acordo com o tamanho dos grãos que formam a textura do solo (ALMEIDA, 2005).

Figura 4: Escala granulométrica NBR 6502/95



Fonte: [2] ABNT (1995).

Para tanto, as porcentagens passantes das partículas do solo nas peneiras determinaram seus termos técnicos granulométricos em areia ou pedregulho, de acordo com as respectivas aberturas em milímetros até peneira 200 de 0,075mm, conforme NBR 6502 (ABNT,1995). Os resultados fornecidos pela empresa correspondem a média das coletas realizadas, apresentando as porcentagens das quatro camadas de solo na Tabela 1.

Tabela 1 – Distribuição granulométrica por peneiramentos dos Solos A, B, C e D

Mesh peneira	Abertura (mm)	SOLO A		SOLO B		SOLO C		SOLO D	
		% passante	% retida						
1"	25,40	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00
3/4"	19,10	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00
3/8"	9,52	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00
4	4,76	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00
10	2,00	94,65	5,35	99,33	0,67	100,00	0,00	100,00	0,00
16	1,19	93,12	6,88	98,62	1,38	100,00	0,00	99,84	0,16
30	0,60	90,23	9,77	97,16	2,84	99,98	0,02	99,60	0,40
40	0,42	89,36	10,64	96,01	3,99	99,95	0,05	99,42	0,58
50	0,30	86,71	13,29	80,74	19,26	99,82	0,18	99,12	0,88
100	0,15	69,90	30,10	63,88	36,12	99,07	0,93	97,56	2,44
200	0,07	52,99	47,01	57,71	42,29	95,68	4,32	90,01	9,99
Fundo	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Dos autores (2021).

Enquanto isso, as partículas que não permaneceram retidas passaram pelo processo de sedimentação com o objetivo de diferenciar entre argila e silte. Nesse ensaio, de acordo com a NBR 6502 (ABNT, 1995), os materiais remanescentes são submetidos a um meio aquoso, onde há a separação granulométrica seguindo a lei de Stokes de velocidade das esferas. Os dados dos ensaios acessados estão na Tabela 2.

Tabela 2 - Distribuição granulométrica por sedimentação dos Solos A, B, C e D

Leitura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Diâm. Grãos	0,0666	0,0471	0,0333	0,0230	0,0162	0,0119	0,0084	0,0059	0,0042	0,0030	0,0021	0,0012
% Solo A	50,03	49,12	48,87	48,01	47,04	46,85	45,69	44,99	44,27	43,15	41,96	40,22
% Solo B	54,01	53,88	53,45	52,01	51,67	51,00	50,45	49,16	48,35	47,03	46,68	45,99
% Solo C	93,27	88,92	88,20	87,48	85,06	80,96	75,51	72,37	69,24	63,93	61,04	58,36
% Solo D	87,10	84,70	83,51	82,07	81,35	78,00	75,15	72,49	67,94	65,78	62,90	57,71

Fonte: Dos autores (2021).

Em contrapartida, dentro do software é preciso informar as porcentagens de cada parcela granulométrica de solo, que é classificado de acordo com o triângulo trilinear de Feret. Nele, cada lado representa uma fração granulométrica do solo (areia, argila e silte) seguindo a porcentagem do software (Figura 5), que esboçam um ponto no centro do triângulo, a ser classificado segundo a nomenclatura da região (FOLLE, 2009).

No presente trabalho, foi identificado um tipo em comum de terminologia para os quatro tipos de solo, sendo predominantemente a argila.

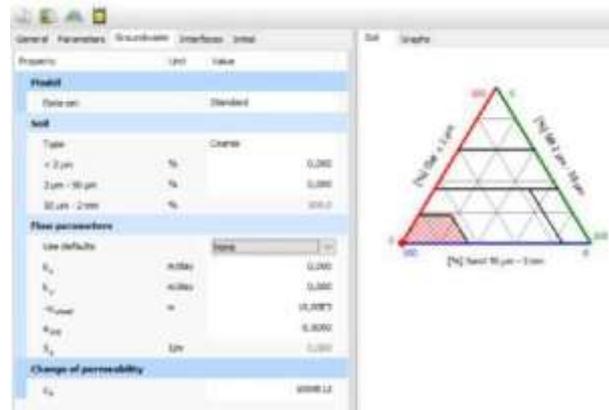
Solo A: argila arenosa;

Solo B: argila pouco arenosa;

Solo C: argila silto-arenosa;

Solo D: argila siltosa.

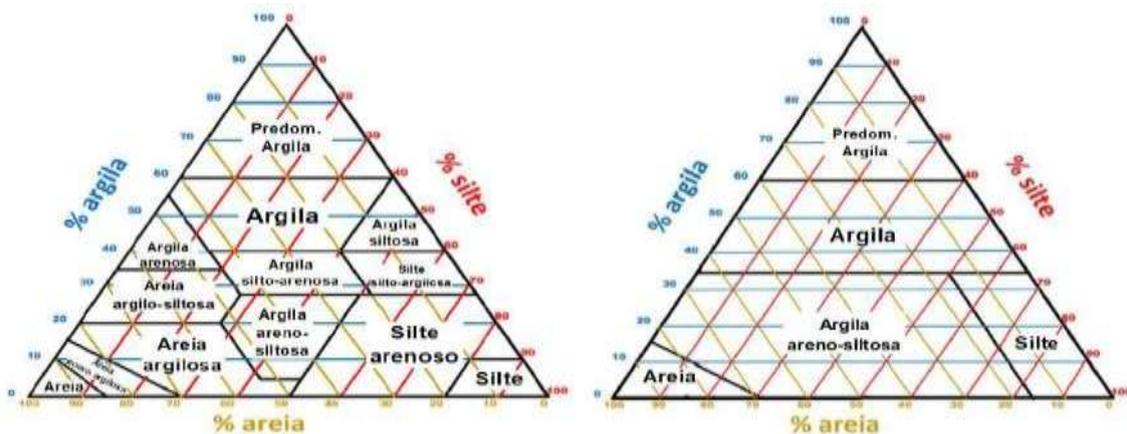
Figura 5 – propriedades granulométricas do solo no PLAXIS 2D.



Fonte: Dos autores (2021).

A leitura da porcentagem inicia no respectivo lado do triângulo, prolongando uma reta, que para a areia e silte é feita no sentido paralelo do lado do triângulo, enquanto para a argila é traçada no sentido vertical, de forma a encontrar as três linhas e intrecruzá-las em um único ponto (LEPSCH, 2011). A nomenclatura do solo irá depender da zona onde a marca está posicionada, conforme indica a Figura 6.

Figura 6 – a) versão detalhada b) versão simplificada da classificação textural do solo no PLAXIS 2D



Fonte: [14] Adaptado de LEPSCH (2011).

Para o solo de estudo, foram utilizados os mesmos resultados de ensaios de peneiramento, separando as porcentagens de areia, silte e argila, vistas na Tabela 3 deste trabalho.

Tabela 3 - Distribuição granulométrica dos solos A, B, C e D

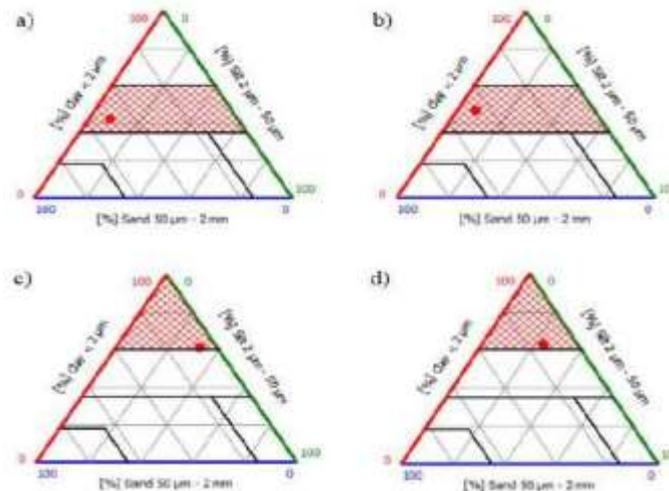
Material	Areia	Silte	Argila	Total
% Solo A	49,97	8,07	41,96	100,00
% Solo B	45,99	7,33	46,68	100,00
% Solo C	6,73	32,23	61,04	100,00
% Solo D	12,90	24,20	62,90	100,00

Fonte: Dos autores (2021).

Os resultados dos solos, ao serem inseridos no software, retornam automaticamente a parcela representativa de solo, ainda na fase inicial de inserção dos dados de cálculo (Figura 7). De acordo com o triângulo de Feret, os solos são denominados ainda predominante como argila.

Solo A: argila arenosa;
Solo B: argila arenosa;
Solo C: predominantemente argila;
Solo D: predominantemente argila.

Figura 7 – Visualização das distribuições simplificadas do a) solo A, b) solo B, c) solo C e d) solo D no software PLAXIS 2D.



Fonte: Dos autores (2021).

2.2.2 Perfil estatigráfico

O solo de estudo é composto por quatro camadas de solo, caracterizadas previamente pelos ensaios fornecidos pela empresa. A definição dos limites de solo foi possível pela realização de ensaio de sondagem por penetração, até a faixa de 11,75 metros, identificando o nível de água do lençol freático em 4,33 metros abaixo da superfície. Os resultados do ensaio estão detalhados na Tabela 4.

Tabela 4 – perfil estatigráfico para modelagem no software

Profundidade (m)	Soma dos golpes		Descrição do solo
	1 ^o +2 ^o	2 ^o +3 ^o	
-1,00	8	10	Argila arenosa média cinza
-2,00	9	12	Argila arenosa média cinza
-3,00	11	13	Argila arenosa média cinza
-4,00	9	10	Argila pouco arenosa média cinza
-5,00	8	9	Argila pouco arenosa média cinza
-6,00	1	2	Argila silto-arenosa com matéria orgânica muito mole, cinza escura
-7,00	2	2	Argila silto-arenosa com matéria orgânica muito mole, cinza escura
-8,00	2	1	Argila silto-arenosa com matéria orgânica muito mole, cinza escura
-9,00	2	2	Argila silto-arenosa com matéria orgânica muito mole, cinza escura
-10,00	3	1	Argila silto-arenosa com matéria orgânica muito mole, cinza escura
-11,00	4	3	Argila siltosa com matéria orgânica mole, cinza escura
-11,75	3	5	Argila siltosa com matéria orgânica mole, cinza escura

Fonte: Dos autores (2021).

2.2.3 Parâmetros

O software requer que sejam informadas as incógnitas das fórmulas, para que sejam calculados todos os resultados. Os parâmetros de solo são extraídos a partir dos ensaios de laboratório e *in situ*, disponibilizados pelas empresas, descritos na Tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros de solo usados no PLAXIS 2D

Grandeza	Símbolo	Unidade	Parâmetro
Propriedades físicas	γ_{unsat}	kN/m ³	Peso específico seco
	γ_{sat}	kN/m ³	Peso específico saturado
	w	%	Umidade
	ρ	kg/m ³	Massa específica real
	ρ_n	kg/m ³	Massa específica aparente natural
	LL	%	Limite de liquidez
	LP	%	Limite de plasticidade
Resistência	IP	%	Índice de plasticidade
	c'	kN/m ²	Coesão do solo
	ϕ'	°	Ângulo de resistência ao corte/atrito
	ψ	°	Coefficiente de dilatância
Rigidez	E	kN/m ²	Módulo de deformabilidade/Young (não drenado)
	E'	kN/m ²	Módulo de deformabilidade/Young (drenado)
	u'	-	Coefficiente de Poisson
	G	kN/m ²	Módulo de cisalhamento
	E_{edo}	kN/m ²	Módulo edométrico
Permeabilidade	kx	m/dia	Permeabilidade horizontal
	ky	m/dia	Permeabilidade vertical
	e0	-	Índice de vazios

Fonte: Dos autores (2021).

3 Resultados previstos

Por se tratar de um trabalho de conclusão de curso, os resultados deste trabalho ainda estão em fase de escrita, tendo em vista que os resultados dos ensaios ainda estão sendo apurados para reconhecimento dos parâmetros de funcionamento correto do PLAXIS 2D. Dessa maneira serão abordados os resultados previstos com o estudo, levado em consideração as pesquisas até então realizadas.

Inicialmente, será delimitado através do software PLAXIS, a geometria do solo em estudo, que corresponde a fase inicial de inserção de dados. Cada uma das camadas de solos inseridas possui um material agregado, e, portanto, um comportamento de solo diferente. O programa reconhece os parâmetros característicos e relaciona com o modelo constitutivo, a fim de gerar uma malha simplificada, que simula a situação do solo real. Quanto mais próximas as triangulações da malha, maior é o carregamento submetido naquele ponto, que no caso de um solo mole, corresponde a região de maior deformação de solo.

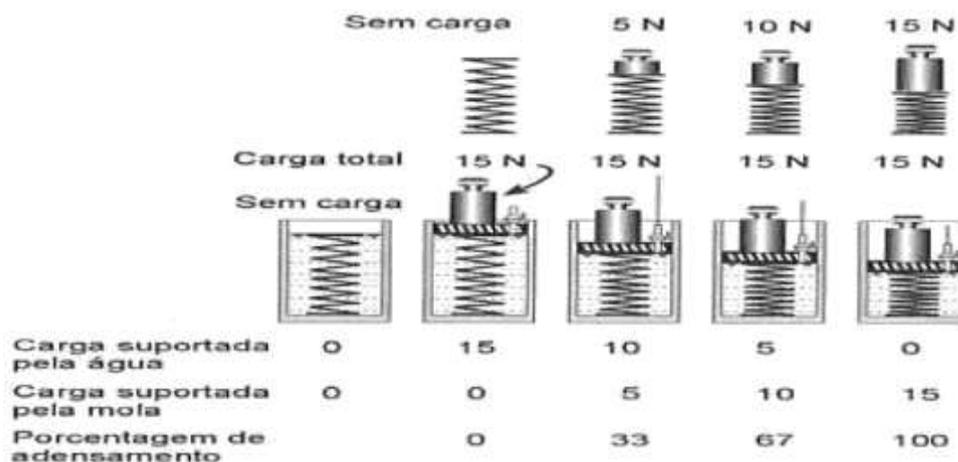
Nas demais fases serão inseridas as condições de contorno e elementos de suporte, relativas à estrutura padrão construída para simular as tensões geradas no solo ao longo do tempo. A simulação progressiva de cada solo, será feita conforme a lógica de construção no plano, inicialmente sem aplicação de cargas, depois com a execução da fundação, a considerar as propriedades físicas do concreto para

apropriação do material e seu comportamento em relação ao solo. E por fim, a própria carga da estrutura como um todo, quando acelera o processo de deformação da estrutura argilosa.

Esse conjunto irá retornar graficamente as variações de deslocamento vertical, poropressões e tensões atuantes ao longo do tempo. A partir desses resultados obtidos, considerando os pontos críticos de maior probabilidade de ocorrência de recalque especificadamente na área analisada, é possível discutir alguns pontos importantes a respeito do comportamento das argilas. Os deslocamentos verticais gerados nesse tipo de material é ocorre devido às propriedades de baixo teor de vazios, alta compressibilidade, pouca permeabilidade e grau de resistência e plasticidade variáveis em relação ao teor de umidade (TONIN, 2013). Tal que a ordenação dos grãos da argila permite a formação de espaços entre as partículas de solo favorecendo a percolação de fluidos, e por sua vez, quanto maior forem os vazios, mais permeável será o maciço (PÓVOA, 2016).

Seguindo essa linha de pensamento, um carregamento quando aplicado sob uma superfície argilosa tende a comprimir os grãos eliminando o ar e água neles contidos, reduzindo consideravelmente o seu volume. A variação do volume do maciço é o recalque em si, que gera diferentes proporções de diferencial da camada comprimida do solo (MENESES, 2004). A Figura 8 mostra a simulação mecânica de Terzaghi, que explica esse fenômeno de compressibilidade, ao relacionar primeiramente a carga aplicada pelo pistão na mola sem a presença de água, assim a mola absorvendo toda tensão exercida pelo pistão. Já na segunda análise, com a presença do fluido resultou na distribuição gradual entre a água e a mola, e por fim, conduzindo toda tensão para a mola (BITTENCOURT, 2015).

Figura 8: Analogia mecânica de Terzaghi para argilas compressíveis.

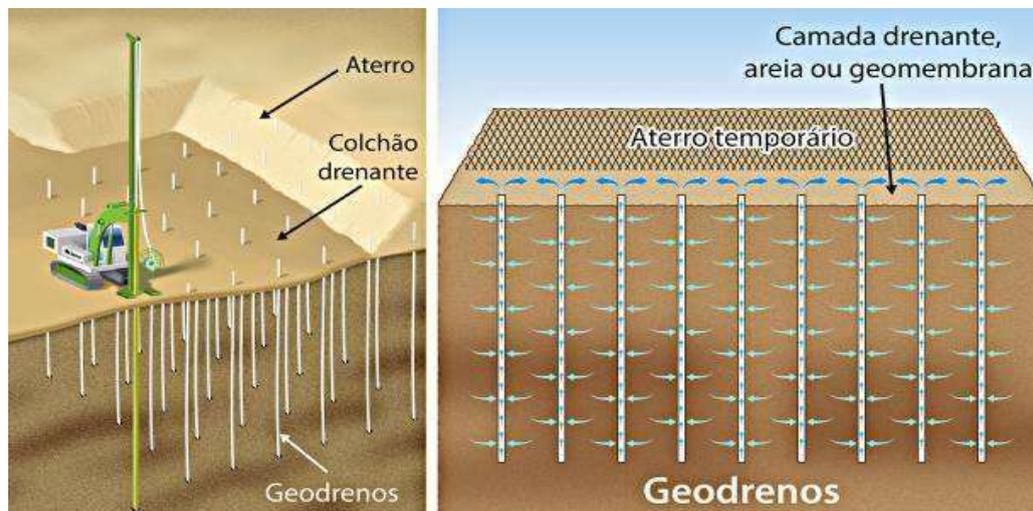


Fonte: [7] BITTENCOURT (2015).

Conhecendo o comportamento das argilas, é preciso adotar medidas de tratamento de solo eficazes, para corrigir as deformações geradas no solo, pois estas com o tempo podem gerar patologias na edificação, começando com trincas e rachaduras, e a depender da região, até o colapso dos componentes de suporte ou afundamento da estrutura nos pontos de menor resistência.

Com os resultados de sondagem em mãos, sabe-se que para o solo estudado a região mole está entre 5 a 11 metros, sendo recomendado que o tratamento seja feito de maneira mais profunda, como o uso de geodrenos. Estes realizam a drenagem da água através de elementos plano vazado com pequenas aberturas triangulares em seu interior, revestido com um filtro geotêxtil. No solo ele é introduzido por meio uma perfuração circular feito por uma broca (Figura 9), atendendo a necessidade específica do solo conforme o projeto. Em suma, esse modelo é uma solução perfeita, pois após a compressão irá levar da água presente no interior do solo até a superfície, acelerando o processo de recalque e aumentando a rigidez, o que permite a construção sem danos futuros (SANTOS; BELLO; SANTOS, 2019).

Figura 9: execução e percolação da água por meio dos geodrenos.



Fonte: Solotrat (2020).

Por fim, como a estrutura da edificação é simplificada, não há necessidade de construção de uma fundação profunda, mesmo que após o tratamento do solo, seja possível. Assim que, em ocasiões que requerem maior profundidade, somente após compactação prévia, será passível de utilização.

4 Conclusão

O presente trabalho abordou o estudo de um solo de consistência mole para avaliar a viabilidade de construção de edificações no local, visto que a alta compressibilidade desse tipo de solo inviabiliza o suporte de carregamentos provenientes das estruturas. O uso de um software de modelagem permite analisar previamente a capacidade de solos frágeis mediante ensaios geotécnicos como base de reconhecimento prévio do solo em questão. Com os resultados em mãos foi possível sugerir um tratamento de solo mais adequado, considerando a camada de solo mole mais profunda, como o uso de geodrenos verticais, coluna de brita ou CPR Grouting. A adesão de cada um deles está ligada ao custo de maquinário, mão de obra e ensaios, considerando a recente atividade no ramo civil.

Como continuidade desta obra, sugere-se o cálculo das fundações, que para a residência de padrão estrutural simples, pôde ser superficial, como a utilização de sapatas e blocos. Em estudos futuros pode ser levantada a possibilidade de uma fundação profunda ou ainda de acompanhar uma obra em situação real, para comparar os dados fornecidos pelo software com aqueles *in situ*.

Referências

- [1] ALMEIDA, Gil Carvalho Paulo de. Caracterização Física e Classificação dos Solos. **Material de aula**. UFJF, 2005. Disponível em: <<https://www.bibliotecaagppta.org.br/agricultura/solos/livros/CARACTERIZACAO%20FISICA%20E%20CLASSIFICACAO%20DOS%20SOLOS.pdf>>. Acesso em: 07 out. 2021.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6502**: Rochas e solos - Terminologia. 18f. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.
- [3] BARROS, Carolina. **Apostila de Fundações**: Técnicas Construtivas Edificações. Pelotas: IFSul, 2011. Disponível em: <<https://edificacoes.files.wordpress.com/2011/04/apo-fundac3a7c3b5es-completa.pdf>>. Acesso em 21 mar. 2021.
- [4] BELLAN, Cássio Hister. **Retroatálise das condições hidrológicas associadas à instabilidade de uma encosta por meio do método dos elementos finitos**. 2018. 109f. Monografia. Joinville: UFSC, 2018.

- [5] BENTLEY. A Bentley Systems adquiriu a Plaxis e em conjunto a SoilVision para integrar a engenharia geotécnica dentro dos fluxos de trabalho digitais para projetos de infraestrutura. **Bentley**. 2018. Disponível em: <<https://www.bentley.com/pt/about-us/news/2018/april/26/plaxis-acquisition-press-release>>. Acesso em 14 set. 2021.
- [6] BEZERRA, Daniel Haas. **Previsão de recalques utilizando método dos elementos finitos: exemplo prático de uma obra de aterro sobre solo mole em Santa Cruz, RJ**. 2018. 74f. Monografia. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2018.
- [7] BITTENCOURT, Douglas M.A. Teoria do adensamento: Evolução dos recalques com o tempo. **Material de aula**. Goiânia-GO: PUC-GO, 2015. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17430/material/GEO_II_07_Adensamento_1-2.pdf>. Acesso em: 08 mar. 2021.
- [8] CARVALHO, Marcelle Brandão de. **Modelagem numérica de vibrações induzidas por tráfego de veículos em um edifício residencial**. 2016. 167f. (Mestrado em Geotecnia). Rio de Janeiro: UERJ, 2016.
- [9] FERREIRA, David Johnson Ribeiro. **Comparativo econômico de soluções de aterro sobre solo mole**. 2017. 76f. Monografia. Brasília: UniCEUB, 2017.
- [10] FLORÊNCIO, Luiz Augusto da Silva. **Análise de confiabilidade geotécnica de estruturas de contenção em balanço executadas em areia**. 2018. 150f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil). Natal-RN: UFRN, 2018.
- [11] FOLLE, Daiane. **Análise e aplicações da geoestatística no contexto geológico-geotécnico urbano**. 2009. 232f. Tese. (Doutorado em Engenharia). Porto Alegre: UFRGS/PPGEM, 2009.
- [12] GALLINA, Alberto; KRENN, Rainer; SCHÄFER, Bernd. On the treatment of soft soil parameter uncertainties in planetary rover mobility simulations. *Journal of Terramechanics*. v.63, fev. 2016. p.33-47. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jterra.2015.08.002>>. Acesso em: 13 maio 2021.
- [13] GERSCOVICH, Denise Maria Soares. **Recalques em Solos Argilosos**. Rio de Janeiro: FEN/UERJ, 2013. Disponível em: <http://www.eng.uerj.br/~denise/pdf/compressibilidade_adensamento.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2021.
- [14] LEPSCH, Igo F. Lição 6. Física do Solo I: Granulometria, densidade, consistência e ar do solo. In: **19 Lições de pedologia**. São Paulo: Oficina dos textos, 2011. p. 122-135.
- [15] MARANGON, Márcio. **Geotecnia de Fundações e Obras de Terra**. 2ed. Juiz de Fora-MG: UFJF, 2017. Disponível em: <<https://www.ufjf.br/nugeo/ensino/graduacao/publicacoes-academicas-livre/geotecnia-de-fundacoes-e-obras-de-terra/>>. Acesso em: 01 mar. 2021.
- [16] MENESES, Leonardo Antonio de. **Utilização de geocélulas em reforço de solo mole**. 2004. 86f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). São Carlos-SP: EESC-USP, 2004.
- [17] NOGUEIRA, Estela Grassi. **Estudo de algumas soluções de tratamento de solos moles para construção de aterros no Trecho Sul do Rodoanel – SP**. 2010. 166f. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Poli – USP, 2010.
- [18] PÓVOA, Luisa Muylaert de Menezes. **Caracterização geotécnica de um depósito de solo mole em área de baixada localizada em Macaé-RJ**. 2016. 138f. Dissertação. (Mestrado em Geotecnia). Campos dos Goytacazes-RJ: UENF, 2016.
- [19] SANTOS, Maria Mariana Azevedo dos; BELLO, Maria Isabela Marques da Cunha Vieira; SANTOS, Yago Ryan Pinheiro dos. Dimensionamento de geodrenos para um aterro sobre solo mole, a partir de coeficientes de adensamento obtidos em ensaios oedométricos e de piezocone. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL – REGEO, 9, 2019, São Carlos-SP. **Anais...** 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/348391287_Dimensionamento_de_Geodrenos_Para_Um_Aterro_Sobre_Solo_Mole_a_Partir_de_Coeficientes_de_Adensamento_Obtidos_em_Ensaio_Oedometricos_e_de_Piezocone>. Acesso em: 08 mar. 2021.
- [20] SOLOTRAT. Dreno Fibroquímico. **Solotrat Engenharia Geotécnica Ltda**. [2020]. Disponível em: <<http://www.solotrat.com.br/assets/pdf/dreno-fibroquimico-solotrat.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2021.
- [21] SUN at al. Microstructure investigation of soft clay subjected to triaxial loading. **Engineering Geology**. v. 274, set. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105735>>. Acesso em: 07 mar. 2021.



[22] TONIN, Fábio. Permeabilidade dos solos: Mecânica dos Solos. **Material de aula**. 2013.