



Franciele Braga Machado Tullio  
(Organizadora)

# Enfoques e Possibilidades para a Engenharia Geotécnica



Franciele Braga Machado Tullio  
(Organizadora)

# Enfoques e Possibilidades para a Engenharia Geotécnica

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Natália Sandrini  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Faria – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
E56	Enfoques e possibilidades para a engenharia geotécnica [recurso eletrônico] / Organizadora Franciele Braga Machado Tullio. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.  Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web ISBN 978-85-7247-746-8 DOI 10.22533/at.ed.468190611  1. Geologia de engenharia. 2. Mecânica do solo. I. Tullio, Franciele Braga Machado.  CDD 624.15136
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

A obra “Enfoques e Possibilidades para a Engenharia Geotécnica” contempla onze capítulos em que os autores abordam as mais recentes pesquisas relacionadas as possibilidades de materiais e metodologias aplicadas na área de geotecnia.

A Engenharia Geotécnica desempenha um papel muito importante em nossa sociedade, pois é através do estudo da ação do homem sobre o solo e rochas que torna possível a prevenção de deslizamentos, desabamentos e desmoronamentos, contenção da ocupação de encostas e gerenciamento de resíduos.

Os estudos da área de geotecnia visam a proteção da população, fazendo uso de soluções sustentáveis sem prejudicar o meio ambiente.

A adição de resíduos no solo pode viabilizar a sua utilização em subleito ou sub-base na pavimentação. Assim como a utilização de resíduos industriais em substituição ao uso de brita pode se tornar como alternativa para a confecção de misturas asfálticas onde há escassez desse material.

A engenharia geotécnica apresenta várias possibilidades de proteção de encostas, tais como: drenagem, proteção superficial, construção de muros de arrimo, retaludamento, entre outras técnicas, proporcionando segurança para diversas comunidades.

Diante do exposto, esperamos que o leitor faça bom uso dos estudos aqui apresentados, de modo que sejam subsídio para uma reflexão sobre as possibilidades que a engenharia geotécnica proporciona à sociedade, trazendo qualidade de vida e segurança, utilizando meios sustentáveis e reduzindo danos ao meio ambiente.

Franciele Braga Machado Tullio

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ATERROS LEVES SOBRE SOLOS MOLES COM UTILIZAÇÃO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) NA BR-101/PE, LOTE 6: AVALIAÇÃO DA TÉCNICA E CARACTERIZAÇÃO DO EPS QUANTO À COMPRESSÃO SIMPLES	
Fabiano Queiroz de Souza Roberto Quental Coutinho Danisete Pereira de Souza Neto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4681906111</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>14</b>
DOSAGENS PARA MISTURAS ASFÁLTICAS TIPO SMA COM RESÍDUOS INDUSTRIAIS	
André Sales Mendes Jander Joia de Figueiredo Costa Júnior Patrícia de Magalhães Aragão Valença Consuelo Alves da Frota	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4681906112</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>26</b>
ESTUDO DA VIABILIDADE TECNOLÓGICA DO EMPREGO DA CAL EM UM SOLO DA FORMAÇÃO GUABIROTUBA PARA FINS DE PAVIMENTAÇÃO	
Vitor Reinaldo Bordignon Rogério Francisco Kuster Puppi Ronaldo Luiz dos Santos Izzo Amanda Dalla Rosa Johann	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4681906113</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>38</b>
MELHORAMENTO DE SOLO COM ADIÇÃO DE RESÍDUO PROCEDENTE DO CEPILHAMENTO RE PAVIMENTOS CCP	
Daniel da Silva Gomes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4681906114</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>50</b>
USO DE DRENOS FIBROQUÍMICOS E COLUNAS DE BRITA PARA TRATAMENTO DE SOLOS MOLES NA BAIXADA DE JACAREPAGUÁ - RJ	
Fernanda Valinho Ignacio Bruno Vieira de Jesus Juliano de Lima	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4681906115</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>62</b>
ESTUDO PARA UTILIZAÇÃO DE TUBOS GEOTÊXTIL PARA ACOMODAÇÃO DE REJEITOS E ESTÉRIL EM SISTEMAS DE DISPOSIÇÃO POR BACKFILL	
Rafaela Baldí Fernandes Sander Elias Rodrigues	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4681906116</b>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>78</b>
OCUPAÇÃO ANTRÓPICA DE ENCOSTAS E SUA ESTABILIZAÇÃO	
Paulo Afonso de Cerqueira Luz Alberto Alonso Lázaro	

Henrique Dinis  
Kamila Rodrigues Cassares Seko  
DOI 10.22533/at.ed.4681906117

<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>91</b>
ZONEAMENTO SIMPLIFICADO DE RISCO DE DESLIZAMENTO EM ENCOSTAS NO NORDESTE DO BRASIL	
Belaniza Gaspar Santos Neta Osvaldo de Freitas Neto Erinaldo Hilario Cavalcante	
DOI 10.22533/at.ed.4681906118	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>105</b>
ESTUDOS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS PARA IMPLANTAÇÃO DA BARRAGEM VENTUROSA NO ESTADO DE PERNAMBUCO	
Hosana Emilia Sarmiento Costa Leite Rafaella Teixeira Miranda Maiara de Araújo Porto Túlio Martins de Lima Natália Milhomem Balieiro	
DOI 10.22533/at.ed.4681906119	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>118</b>
COMPARAÇÃO E PREVISÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL (UCS) DE ROCHAS ARENÍTICAS TURBIDÍTICAS DAS FORMAÇÕES SANTOS, BACIA DE SANTOS, BRASIL E DA FORMAÇÃO CHICONTEPEC, BACIA DE CHICONTEPEC, MÉXICO	
Claudia Martins Bhering Dominoni Anna Laura Lopes da Silva Nunes Claudio Rabe Gilmara Alexandre Felipe da Silva Cleverson Guizan Silva	
DOI 10.22533/at.ed.46819061110	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>130</b>
MODELAGEM EM ELEMENTOS FINITOS 3D DE RADIER ESTAQUEADO COMPOSTO POR ESTACAS EMBUTIDAS PARCIALMENTE EM ROCHA	
Jean Rodrigo Garcia Paulo José Rocha de Albuquerque Osvaldo de Freitas Neto Rodrigo Álvares de Araújo Melo	
DOI 10.22533/at.ed.46819061111	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>144</b>
MELHORAMENTO DOS PARÂMETROS MECÂNICOS E FÍSICOS DE DEPÓSITOS ALUVIONARES ATRAVÉS DA EXECUÇÃO DE GEODRENOS VERTICAIS	
Rodrigo Rogério Cerqueira da Silva Bruno Pereira Casanova	
DOI 10.22533/at.ed.46819061112	
<b>SOBRE A ORGANIZADORA</b> .....	<b>156</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>157</b>

## MELHORAMENTO DOS PARÂMETROS MECÂNICOS E FÍSICOS DE DEPÓSITOS ALUVIONARES ATRAVÉS DA EXECUÇÃO DE GEODRENOS VERTICAIS

**Rodrigo Rogério Cerqueira da Silva**  
**Bruno Pereira Casanova**

**RESUMO:** As obras de infraestrutura rodoviária apresentam uma série de desafios principalmente relacionados à mecânica dos solos, tornando-se cada vez mais comum a construção em terrenos com presença de grandes espessuras de solos instáveis e compressíveis, os quais demandam o uso de técnicas de forma a melhorar sua capacidade de suporte e acelerar recalques prevenindo problemas futuros de estabilidade. Existem diversas técnicas de construção em aterros sobre solos moles que possibilitam solucionar tais problemas, sendo a verificação de sua eficiência avaliada quanto à redução da magnitude dos recalques e tempo de estabilização dos mesmos. Uma das técnicas que se destaca pela sua praticidade e rapidez de execução para tratamento de solos moles é o uso de drenos verticais, que aceleram a saída de água contida entre os poros das partículas sólidas das argilas moles e pouco permeáveis, permitindo aumento da resistência ao cisalhamento, através da redução do seu volume. O presente artigo tem por objetivo verificar o desempenho da aplicação de drenos verticais em uma obra de infraestrutura localizada na região de Guarulhos, município de São Paulo, avaliando as mudanças físicas

e mecânicas de uma espessa camada de solo mole verificadas em duas campanhas, antes e após o tratamento, através de investigações geotécnicas por meio de sondagens do tipo SPT e *Vane Test* e caracterização dos solos através dos índices físicos, indicando o grau de melhoramento do maciço tratado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geossintéticos, Dreno Vertical, Tratamento de solo, Índices físicos dos solos.

### 1 | INTRODUÇÃO

As obras de infraestrutura rodoviária apresentam uma série de desafios principalmente relacionados à mecânica dos solos, tornando-se cada vez mais comum a construção em terrenos com presença de grandes espessuras de solos instáveis e compressíveis, os quais demandam o uso de técnicas de forma a melhorar sua capacidade de suporte e acelerar recalques prevenindo problemas futuros de estabilidade. Assim torna-se necessário aplicar métodos de melhoramento de solos moles que têm como principais objetivos prevenir rupturas por falta de capacidade de carga, além de evitar grandes assentamentos diferenciais, altamente perigosos para a estabilidade e funcionalidade de uma estrutura.



Nesse sentido, verifica-se que a escolha correta da solução mais adequada a ser executada para uma determinada obra de aterro sobre solo mole deve levar em consideração, dentre outros fatores, a sua exequibilidade técnica, o orçamento e o prazo que se tem à disposição (Madeira, 2016). O autor afirma ainda que o dimensionamento técnico da respectiva solução precisa ser baseado em teorias da engenharia geotécnica.

Madeira (2016) concluiu em seu estudo de viabilidade em solos moles que a solução com drenos verticais associados a uma sobrecarga temporária apresenta-se viável, sendo que, ao investir cerca de 20% a mais no orçamento inicial, pode-se obter um ganho de aproximadamente 46% no prazo total de execução do empreendimento.

O progresso da consolidação de uma camada de argila pode ser controlado pela observação das variações das pressões intersticiais ( $u$ ), assumindo a variação das tensões verticais totais como uma constante, a transferência para tensões efetivas é consequência da variação das pressões intersticiais (Terzaghi et al., 1996).

## 2 | PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental consistiu no acompanhamento da cravação de geodrenos verticais no maciço de solo mole, através de ensaios *in loco* por sondagens do tipo SPT (sondagem a percussão) e *Vane Test*. Foram coletadas amostras através de sondagem a trado (ST) e armazenadas segundo a NBR (9604:2016), para a realização de ensaios laboratoriais e caracterização dos índices físicos do solo local.

### 2.1 Características Geológicas

Na base dos sedimentos aluvionares quaternários que recobrem quase toda a extensão da Bacia Sedimentar de São Paulo, em Guarulhos, ocorrem sedimentos terciários que são correlacionados à Formação Resende, do Grupo Taubaté (Riccomini e Coimbra 1992).

Segundo Riccomini e Coimbra (1992), a Formação Resende possui uma planície aluvial de rios entrelaçados denominados *braided*, formado por depósitos de carga de fundo e pontas de barras de rios anastomosados, de granulometria grossa. Segundo Driscoll (1989), o sistema *braided* confere alta permeabilidade e porosidade aos depósitos sedimentares.

De acordo com Diniz e Duarte (2012) neste pacote sedimentar terciário ocorrem aluviões de drenagem de idade Quaternária, constituídos, predominantemente, por camadas de areias argilosas finas e médias de cores cinza e amarelada e argilas siltosas pouco arenosas de cor variegada, capeadas por uma camada de argila orgânica, às vezes pouco siltosa e pouco arenosa, cinza-escura a preta, com consistência muito mole.

## 2.2 Execução dos Geodrenos Verticais

A solução proposta no projeto de execução para a melhoria do solo para a aceleração do processo de consolidação dos materiais aluvionares é através da instalação de geodrenos verticais atravessando integralmente essa camada aluvionar.

Os geodrenos apresentam como principais vantagens, a aceleração dos recalques e a eficácia em eventuais deslocamentos do terreno, especialmente em função da flexibilidade dos drenos. Por outro lado, o sistema apresenta como principais desvantagens, a necessidade de utilização de um aterro temporário de sobrecarga, encarecendo um pouco o sistema, e deixando-o mais lento em sua execução (Sgarbi et al., 2011).

De modo geral, alguns cuidados são necessários na instalação dos geodrenos. Nesse sentido, Araújo (2009) afirma que em alguns casos pode ser observado o efeito “*smear*”, ou amolgamento da argila, durante a instalação dos geodrenos, que consiste no efeito de adensamento no solo envolvente do dreno, provocado pela sua cravação.

De acordo com Saye (2001) a cravação de drenos verticais pré-fabricados desenvolvem perturbações similares ou maiores do que os drenos de areia. Essas perturbações de acordo com Casagrande e Poulos (1969) são intensificadas quando o espaçamento é menor que dois metros e que durante a cravação de drenos pré-fabricados acaba causando de forma progressiva, ainda mais perturbações no local, de forma a reduzir substancialmente o respectivo grau de adensamento.

Estudos realizados por Bergado et al. (1994) e Maccarini (2010), verificaram que a malha triangular garante uma abrangência maior na área tratada onde os geodrenos forem cravados e portanto um adensamento mais uniforme e maior dissipação do excesso de pressão neutra.

Independentemente do cálculo a experiência tem mostrado que os drenos com espaçamentos menores que 1,5 m não resultam em benefícios relativos à velocidade de adensamento (Saye, 2001). O dimensionamento da malha de geodreno é baseado na teoria de adensamento radial, sua seção transversal retangular (dimensões a e b) de acordo com Rixner et al. (1986) é corrigida de acordo com o diâmetro equivalente ( $d_w$ ), de acordo com a equação (1).

O espaçamento entre os drenos pode ser relacionado com o diâmetro de influência do dreno ( $d_e$ ), sendo que para malha triangular adota-se a equação (2).

$$d_w = \frac{2(a+b)}{\pi} \quad (1)$$

$$d_e = 1,05 \times S \quad (2)$$

A avaliação do programa experimental ocorreu após a execução de aterro com

areia com espessura da ordem de 1 metro, os geodrenos verticais foram instalados de forma a atravessar integralmente a formação aluvionar com profundidade de 18. A malha dos geodrenos executadas no deposito aluvionar, possui uma distribuição do tipo triangular, com afastamentos de 1,5 m, conforme a Figura 2a. A Figura 2b apresenta o detalhe da malha triangular utilizada no campo experimental e a especificação para (dw) e (de) no dimensionamento.



Figura 2: (a) Vista geral da área de estudo, (b) Detalhe da malha de cravação e especificação para dimensionamento.

De acordo com Massad (2010) a utilização de geodrenos verticais para acelerar o adensamento de solo é aplicável quando o solo mole é muito espesso, ou o seu coeficiente de adensamento é muito baixo, a utilização da pré-compressão através de sobrecarga temporária, torna-se ineficiente.

Os geodrenos verticais são formados por um núcleo de plástico com ranhuras em forma de canaleta, envolto por um filtro de geossintético não tecido de baixa gramatura com dimensões em torno de 5 x 100 mm (Figura 3a). Esta técnica de tratamento de solos moles diminui o caminho de drenagem dentro da massa de solo mole, para cerca de metade da distância horizontal entre drenos, promovendo assim a aceleração dos recalques. Através de maquinário sobre esteira e torre compatível com a profundidade a ser tratada (Figura 3b), após a cravação dos geodrenos na camada aluvionar em estudo o fluxo de água foi contínuo nas primeiras horas (Figura 3c), com diminuição após 72 horas (Figura 3d).



Figura 3. (a) Detalhe geodreno dimensões 5 x 100 mm, (b) Vista geral do maquinário para cravação de geodrenos, (c) Fluxo de água após execução dos geodrenos verticais, (d) Fluxo de água após 72 horas execução dos geodrenos verticais.

A verificação da eficiência do tratamento de solos moles é verificada geralmente através do monitoramento dos aterros sobre solos moles usualmente com inclinômetros, perfilômetros e placas de recalque, sendo o objetivo desta pesquisa, avaliar as mudanças físicas e mecânicas de uma espessa camada de solo mole através de duas campanhas de investigações geotécnicas, antes e após o tratamento das camadas de solos mole tratadas com geodrenos.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Ensaios geotécnicos laboratoriais

A seguir nas Tabelas 1 e 2, serão apresentados os parâmetros geotécnicos obtidos por meio dos ensaios laboratoriais utilizando-se amostras deformadas (Figura 5), coletadas por sondagem a trado (ST) na área de estudo, junto ao local mais crítico de resistência  $N_{spt}$  antes e após a cravação dos geodrenos.



Figura 5. Tipo de solo coletado para realização dos ensaios laboratoriais.

Para a obtenção dos parâmetros a seguir foram conduzidos os seguintes ensaios laboratoriais, para verificar a diminuição de água nos poros das argilas como limite de liquidez NBR 6459 (1984), limite de plasticidade NBR 7180 (1984), teor de umidade natural NBR 6457 (1984), índice de vazios e determinação da massa específica NBR 6508 (1984).

Prof. (m)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	W (%)	$e_0$	$\gamma_{nat}$ (KN/m <sup>3</sup> )
2	127	58	69	132	3,28	13,9
4	75	45	30	92	3,22	14,0
6	66	34	32	90	3,07	14,3
8	63	32	31	89	3,02	14,5

Tabela 1. Caracterização geotécnica antes da cravação do geodreno.

Onde: LL (limite de liquidez), LP (limite de plasticidade), IP (índice de plasticidade), W (teor de umidade),  $e_0$  (índice de vazios),  $\gamma_{nat}$  (peso específico natural).

Bedeschi (2004) verificou em seu trabalho que o teor de umidade natural é próximo do limite de liquidez, e a umidade da camada superficial turfosa gira em torno de 350%, sendo que quando os drenos verticais penetram na camada de argila orgânica este índice diminui, de forma a variar entre 100% a 150%, dentro da faixa dos valores encontrados em estudo. Já em relação ao índice de plasticidade, de um modo geral, verifica-se uma amplitude menor, com variação entre 150% para as camadas iniciais, sendo que permanece em média na casa dos 100% para as camadas subsequentes (Bedeschi, 2004).

A eficiência da instalação dos geodrenos pode ser verificada através do processo que visa melhorar as propriedades físicas do solo através da redução dos seus vazios tornando o maciço mais homogêneo, resultando no aumento do peso específico do solo conforme indicado na Tabela 2. Com a diminuição dos vazios do solo, nota-se uma redução da variação dos teores de umidade, conseqüentemente dos limites de liquidez e plasticidade do solo contribuindo com o aumento da resistência ao cisalhamento, conforme indica os resultados do ensaio *Vane Test* após aplicação

da técnica (Tabela 4).

Prof. (m)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	W (%)	$e_0$	$\gamma_{nat}$ (KN/m <sup>3</sup> )
2	75	44	31	87,4	2,96	14,5
4	64	30	34	66,7	2,40	15,1
6	66	34	32	60,2	2,05	15,8
8	53	27	26	57,8	1,98	16,2

Tabela 2. Caracterização geotécnica após a cravação do geodreno.

Onde: LL (limite de liquidez), LP (limite de plasticidade), IP (índice de plasticidade), W (teor de umidade),  $e_0$  (índice de vazios),  $\gamma_{nat}$  (peso específico natural).

Machado (2012), por sua vez, ao analisar a estabilização do solo de fundação através da aplicação de geodrenos em camada de argila mole/média, verificou que os resultados dos ensaios físicos indicam o melhoramento do solo para o limite de liquidez na ordem de 41% a 71% e o índice de plasticidade entre 19% a 35%.

Com base nos resultados das Tabelas 1 e 2, observa-se que o fator de influência mais importante é a umidade do solo, esta variável é significativa nas mudanças dos outros parâmetros físicos. A diminuição da umidade permite um rearranjo do solo, de forma a criar um esqueleto sólido entre os grãos do solo, diminuindo os vazios entre as partículas do solo, interferindo no aumento da massa específica do solo e conseqüentemente na diminuição dos limites de liquidez e plasticidade do solo.

### 3.2 Parâmetros geotécnicos ensaios SPT

Foram realizadas duas campanhas de sondagens do tipo SPT (NBR 6484:2001), antes e após o tratamento de solo, apresentando espessuras de camadas de argila orgânica que variam entre 4 a 8 m de consistência muito mole a mole, seguida por vezes de lentes de areia fofa e camadas de argila de consistência rija com espessura variável que pode chegar a um máximo de 6 m, sobrepondo-se a estas camadas, por vezes ocorre uma camada de argila contendo areia fina e restos de vegetais, marrom e cinza-escuro com.

A Figura (4a) demonstra uma das sondagens SPT realizada no local mais crítico realizado no início da obra, a sondagem representada pela Figura (4b) demonstra os parâmetros de resistência oito meses após o tratamento com geodrenos.

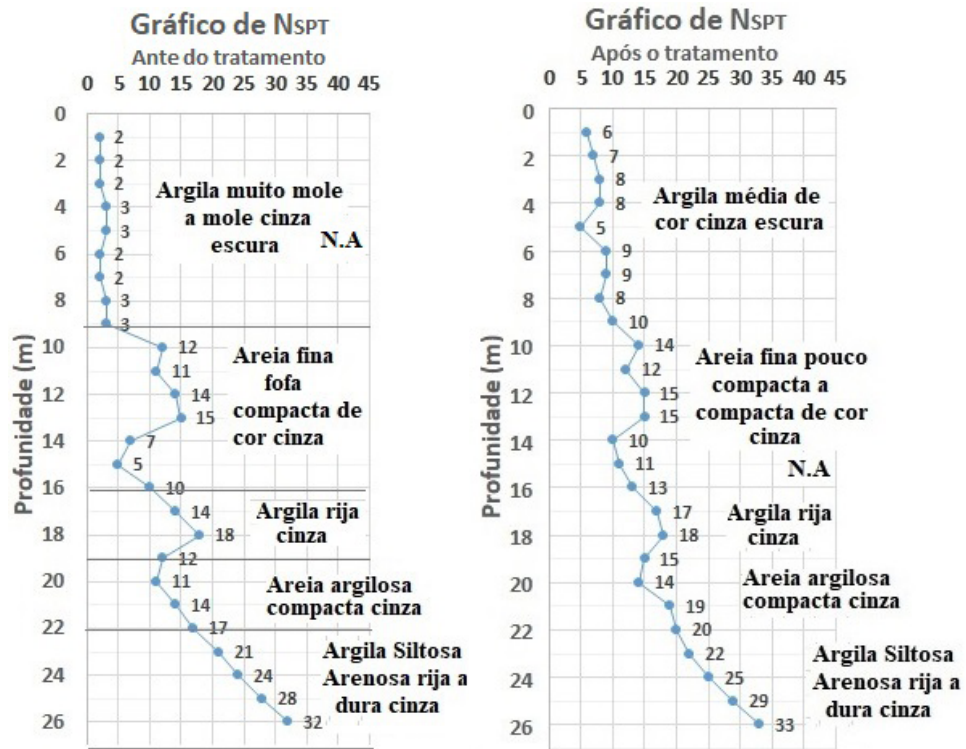


Figura 4. (a) SPT antes do tratamento de solo com geodreno, (b) SPT após tratamento de solo com geodreno.

A melhoria da resistência mecânica dos solos moles pode ser verificada através do aumento dos valores do Nspt, encontrados após a cravação dos geodrenos, associados ao rebaixamento no nível de água em cerca de doze metros com sobrecarga de aterro.

### 3.3 Parâmetros geotécnicos ensaios *Vane Test*

Após a execução das sondagens tipo SPT, foram realizados ensaios *Vane Test* (10905:1989), para a definição dos valores de resistência não drenada ( $S_u$ ). A Tabela 3 indica o valor do ensaio para a situação natural, amolgada, além da sensibilidade, ou seja, a perda relativa de resistência da argila quando totalmente amolgada, através da razão entre a resistência não drenada do solo no estado indeformado e a resistência do solo no estado amolgado.

O ensaio foi realizado até a profundidade de 8 m, considerando a parte mais crítica do perfil aluvionar de acordo com as investigações geotécnicas (SPT). A sensibilidade maior na superfície é explicada, pelo fato do teor de umidade natural ser maior que o limite de liquidez conforme indicado na Tabela 1.

Prof. (m)	Su Resistência Indeformada (KPa)	Su Resistência Amolgada (KPa)	Sensibilidade (kPa)
1	3,2	0,9	3,5
2	3,9	1,1	3,6

3	3,0	0,7	4,2
4	4,8	1,2	4,0
5	5,2	1,6	3,3
6	4,9	1,5	3,2
7	6,7	1,6	4,1
8	6,4	1,4	4,5

Tabela 3. Resultados dos ensaios *Vane Test* antes da execução de geodreno.

A área de estudo apresentou uma sensibilidade do solo entre 3,2 e 4,5 (kPa), sendo compatível com os dados obtidos por Massad (1988), que descreve a sensibilidade das argilas da região de Santos-SP entre 4 e 5 (kPa).

De acordo com Carneiro (2014) a sensibilidade do solo é um parâmetro para avaliar os efeitos do amolgamento, sendo que quanto mais sensitiva for à amostra, mais acentuada será a redução da resistência ao cisalhamento com o amolgamento. Os valores de sensibilidade obtidos pelos ensaios de palheta antes da cravação dos geodrenos indicados na Tabela 3 correspondem a um solo classificado como sendo majoritariamente de média sensibilidade, de acordo com critério de classificação adotado por Skempton e Northey (1952).

A Tabela 4 demonstra as mudanças dos comportamentos das argilas moles após eliminar a água contida entre os poros das partículas sólidas, permitindo o aumento da resistência ao cisalhamento, mudando conseqüentemente o comportamento da argila para baixa sensibilidade.

Prof. (m)	Su Resistência Indeformada (KPa)	Su Resistência Amolgada (KPa)	Sensitividade (kPa)
1	4,7	3,9	1,5
2	4,9	4,2	1,2
3	6,8	5,1	1,3
4	8,8	4,6	1,9
5	7,2	4,1	1,8
6	8,2	5,6	1,4
7	9,6	5,8	1,6
8	10,4	6,2	1,7

Tabela 4. Resultados dos ensaios *Vane Test* depois da execução de geodreno.

Observa-se uma tendência no aumento da resistência do estado indeformado em relação à diminuição do índice de vazios, teor de umidade, limite de liquidez, limite de plasticidade e um aumento do peso específico do solo, demonstrando a dependência do melhoramento dos parâmetros do solo principalmente pela ação do aumento dos efeitos capilares proporcionado pelos geodrenos através da expulsão de água, contribuindo para uma nova distribuição das partículas do solo diminuindo seus vazios.

Os valores de melhoramento dos parâmetros dos solos encontrados na Tabela



4 resultam de três principais fatores, como a compressão imediata, ocasionada pela sobreposição do aterro na camada de solo compressível, deformação devida à magnitude da tensão vertical com o tempo e retração do solo argiloso após expulsão da água.

A Figura (5a) apresenta uma correlação matemática linear com alta significância  $R^2$  obtida entre resistência indeformada ( $R^2=81\%$ ) e amolgada ( $R^2=84\%$ ) com o índice de vazios do solo após a cravação de geodrenos.

O comportamento da resistência indeformada em relação à umidade dependerá das modificações associadas à variação do teor de umidade, sendo que a análise das relações destaca-se aos aspectos referentes à caracterização hidráulica do solo. Para as amostras obtidas na área de estudo foi indicada uma baixa dispersão dos parâmetros obtidos, com melhor representatividade  $R^2$  de 87% em relação à dependência da resistência indeformada com a umidade (Figura 5b), em vista do índice de vazios.

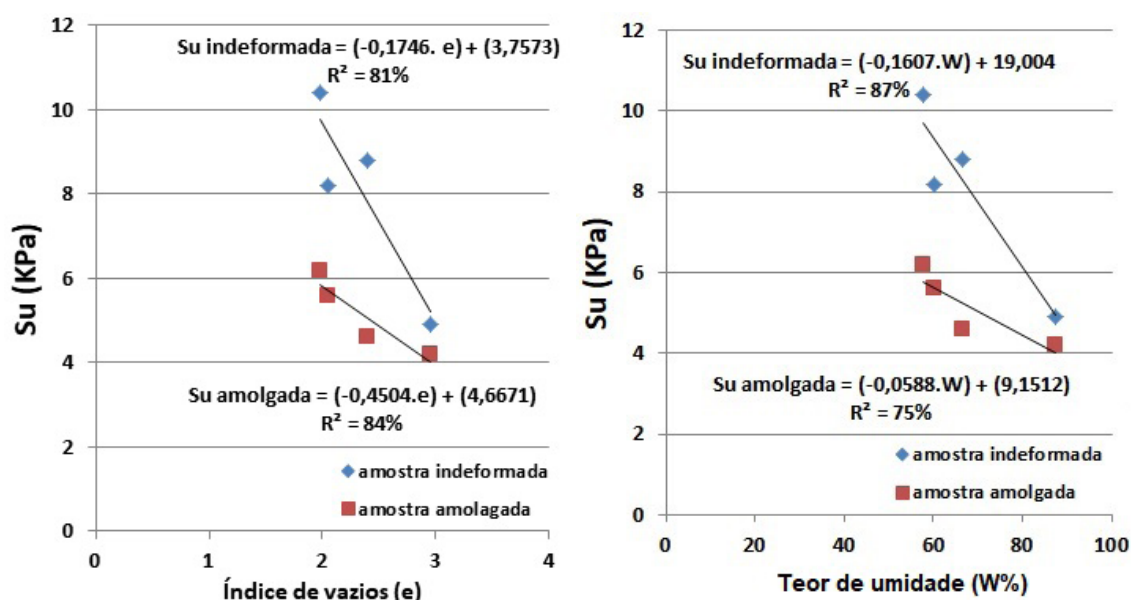


Figura 5. (a) Correlação entre resistência indeformada e amolgada com o índice de vazios, (b) Correlação entre resistência indeformada e amolgada com o teor de umidade.

Estudos realizados por Mello (2011) demonstraram que a instalação de geodrenos verticais permite acelerar significativamente o processo de consolidação dos materiais aluvionares, acelerando os seus assentamentos e os ganhos de resistência ao cisalhamento do maciço de solo em um curto prazo.

#### 4 | CONCLUSÃO

O processo de enrijecimento de solos moles através da execução de geodrenos visa modificar suas características geotécnicas de forma volumétrica, a partir do aumento máximo das poropressões provocada pelo processo de perda d'água

durante a cravação dos geodrenos, associada a sobrecarga de aterro.

O resultado da expulsão de água contribui para o aumento substancial da resistência da argila ao longo de toda a profundidade de solo mole, através da variação do teor de umidade, permitindo um novo arranjo da estrutura entre os grãos dos solos, contribuindo para o aumento de sua massa específica e consequentemente da melhoria dos parâmetros de limites de liquidez e plasticidade do solo.

A sensibilidade dos solos moles é influenciada diretamente pela variação do teor de umidade e índice de vazios, comprovada através da representatividade de regressão linear  $R^2$  acima de 75% em função do teor de umidade e  $R^2$  acima de 80% para índice de vazios, indicando confiabilidade dos índices físicos na avaliação das condições de resistência indeformada e amolgada dos solos.

Os ensaios realizados em campo e laboratório encontrados na presente pesquisa, se enquadram nas faixas de valores obtidos pela experiência brasileira, assim para melhor contribuição do processo executivo devem ser considerados os parâmetros técnicos do solo como sondagem, índices físicos e espessura da camada de solo mole a ser tratada.

Diante disso analisam-se as variáveis necessárias como profundidade e distância entre os geodrenos, além da espessura do colchão drenante.

## REFERÊNCIAS

Araújo, G. L. (2009). *Estudo em Laboratório e em Campo de Colunas Granulares Encamisadas com Geosintético*. Tese de Doutorado - Faculdade de Tecnologia. Brasília.

ABNT (1984). NBR 6459: *Solo-Determinação do Limite de Liquidez*. Associação Brasileira De Normas Técnicas, Rio de Janeiro, p. 6.

ABNT (1984). NBR 7180: *Solo- Determinação do Limite de Plasticidade*. Associação Brasileira De Normas Técnicas, Rio de Janeiro, p. 3.

ABNT (1989). NBR 6484: *Ensaio de palheta in situ*. Associação Brasileira De Normas Técnicas, Rio de Janeiro, p. 9.

ABNT (2001). NBR 6484: *Solo- Sondagem de Simples Reconhecimento com SPT-Método de Ensaio*. Associação Brasileira De Normas Técnicas, Rio de Janeiro, p. 17.

ABNT (2016). NBR 9604. *Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas*. Rio de Janeiro.

Bedeschi, M. V. R. (2004). *Recalques em aterro instrumentado construído sobre depósito muito mole com drenos verticais na Barra da Tijuca*. Rio de Janeiro. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. P. 184.

Bergado, D. T., Anderson, L. R. E Balasubramaniam, A. S. (1994). *Soft Ground Improvement in Lowland and Other Environments*. Rotterdam : American Society of Civil Engineers, New York, NY., p. 232.

Carneiro, R. (2014). *Previsão do Comportamento da Argila Mole da Baixada de Jacarepaguá: O Efeito*

da Submersão do Aterro e do Adensamento Secundário. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Rio de Janeiro-RJ, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, UFRJ, p. 140.

Casagrande, L.; Poulos, S. (1969). "On the Effectiveness of Sand Drains". Canadian Geotechnical Journal, Vol 6, nº 3, p. 286-326.

Diniz, H. N.; Duarte, U. (2012). *Caracterização geológica e hidrogeológica da bacia hidrográfica do rio Baquirivu-Guaçu na região de Guarulhos, SP*. Revista Geociências-UNG-Ser, v. 1, n. 3, p. 51-61.

Driscoll, F.G. (1989). *Groundwater and wells*. 2a Ed. St. Paul, Minnesota, Ed. Johnson Filtration Systems Inc p 1089.

Maccarini, M. (2010). *Projeto Geotécnico de um aterro industrial sobre solos moles para implantação de um estaleiro para a empresa Azimut do Brasil em Itajaí-SC*. Florianópolis .Relatório Técnico. p. 24.

Machado, L. V. S. S. (2012). *Avaliação do deslocamento vertical de aterro sobre solo mole executado no projeto de duplicação da BR-101/PE*. Dissertação. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. PE. p. 199.

Madeira, H. U. R. (2016). *Estudo de viabilidade técnica e econômica para projeto geotécnico de aterro sobre solo mole – Aplicação ao caso do trecho rodoviário Ramo 300, Barra da Tijuca, Rio de Janeiro*. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 65f.

Massad, F. (2003). *Obras de Terra – Curso Básico de Geotecnia*, Oficina de Textos, São Paulo, p. 170.

Melo, P. G., Mira, E., Rebouço, M., Midões, T. (2011) *Variante a Santarém–tratamento da fundação do novo aterro ferroviário sobre as aluviões do Tejo*. Geotecnia, p. 31.

Riccomini, C.; Coimbra, A. M. (1992). *Geologia da Bacia Sedimentar*. In: *Mesa redonda: Solos da Cidade de São Paulo*. São Paulo, ABMS/ABGE/IPT. p. 37-94.

Rixner, J. J., Kraemer, S. R., Smith, A. D. (1986). *Prefabricated vertical drains*, vol. I: engineering guidelines (No. FHWA/RD-86/168). Turner-Fairbank Highway Research Center.

Saye, S. R. (2001). *Assessment of soil disturbance by the installation of displacement sand drains and prefabricated vertical drains*. In: *Soil Behavior and Soft Ground Construction*. p. 325-362.

Sgarbi, B.; Chiarini, R.; Garcia, R. (2011). *Pavimentação em terrenos de solos moles: a utilização de colunas granulares encamisadas*. In: XV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e XI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba.

Skempton, A. W.; Northey, R. D. (1952). *The Sensitivity of Clays*. Géotechnique. Reino Unido. V.3, n.1, p. 30-53.

Terzaghi, K., Peck, R., Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 3rd Edition. Wiley Interscience.

## **SOBRE A ORGANIZADORA**

**FRANCIELE BRAGA MACHADO TULLIO** - Engenheira Civil (Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG/2006), Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/2009, Mestre em Ensino de Ciências e Tecnologia (Universidade Tecnológica federal do Paraná – UTFPR/2016). Trabalha como Engenheira Civil na administração pública, atuando na fiscalização e orçamento de obras públicas. Atua também como Perita Judicial em perícias de engenharia. E-mail para contato: francielebmachado@gmail.com

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Análise numérica 130

Arenito 35, 37, 119, 120, 121, 122, 125, 128

Aterro 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 39, 47, 49, 50, 52, 57, 58, 59, 60, 61, 65, 66, 67, 84, 88, 145, 146, 151, 153, 154, 155

### B

Backfill 62, 63, 65, 66

Barragem 66, 105, 106, 107, 108, 112, 114, 116

### C

CCP 38, 39, 40, 41, 42, 48

Cepilhamento 38, 39, 41, 42, 46, 48

Colunas de brita 50, 51, 52, 53, 54, 55, 58, 59, 60, 61

Compressão simples 1, 4, 7, 26, 27, 29, 30, 32, 33, 35, 36, 37, 116

### D

Deslizamento 64, 79, 80, 91, 92, 93, 98, 104

Disposição de rejeitos 62, 63, 65

Drenos fibroquímicos 50, 51, 52, 53, 55, 57, 58, 59

### E

Embutimento em rocha 139, 141

Encostas urbanas 91

Ensaio 1, 7, 9, 13, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 38, 41, 42, 43, 46, 47, 48, 49, 56, 60, 64, 73, 105, 106, 107, 108, 109, 113, 114, 115, 116, 118, 120, 121, 122, 124, 125, 128, 133, 145, 148, 149, 150, 151, 152, 154

Estabilização 4, 26, 27, 36, 37, 38, 39, 46, 48, 52, 58, 59, 68, 76, 78, 83, 84, 85, 144, 150

Estabilização de encostas 78, 83, 85

Estacas 86, 87, 88, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142

### F

Formação Chicontepec 119, 120, 121

Formação Santos 119, 121, 122, 123, 124, 126, 127, 128

### I

Implantação 3, 39, 52, 57, 59, 60, 74, 75, 76, 85, 91, 93, 105, 112, 155

Investigações geológicas-geotécnicas 105

## **M**

Material pétreo 14, 116

Mistura asfáltica 14, 20

## **O**

Ocupação antrópica de encostas 78

## **P**

Pavimentação 5, 26, 27, 30, 32, 35, 36, 37, 58, 59, 155

Poliestireno expandido (EPS) 1, 2

## **R**

Radier estaqueado 130, 131, 134, 136, 137, 139, 142

Recalque 12, 47, 50, 51, 57, 58, 59, 130, 131, 134, 136, 139, 140, 141, 142, 148

Rejeitos de mineração 62

Reservatório arenítico turbidítico 119

Resíduo 17, 21, 22, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 48

Resíduos cerâmicos 14, 16, 20, 21

Resíduos de construção e demolição 14, 16, 25

Resistência à compressão simples 26, 27, 29, 30, 33, 35, 36, 116

Resistência à compressão uniaxial 109, 118, 119, 120, 125, 128, 132, 133

Risco geológico 78, 81, 82, 83, 92, 96, 98

## **S**

Solo 3, 5, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 56, 57, 58, 59, 64, 66, 70, 78, 79, 80, 81, 82, 84, 85, 86, 87, 88, 93, 94, 105, 108, 109, 112, 113, 114, 116, 130, 131, 134, 135, 136, 137, 139, 142, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155

Solo-cal 26, 27, 28, 29, 33, 35, 36

Solos moles 1, 2, 3, 13, 50, 51, 52, 53, 54, 56, 59, 60, 61, 144, 145, 147, 148, 151, 153, 154, 155

Stone Matrix Asphalt 14, 15, 16, 25

## **T**

Tubos de geotêxteis 62

## **Z**

Zoneamento de risco 91, 92, 98

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-7247-746-8



9 788572 477468