

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE DO USO DE GEOGRELHA PARA REFORÇO DE SOLO NA  
APLICAÇÃO DE FUNDAÇÃO SUPERFICIAL**

JOÃO PESSOA  
2020

ANDRÉ PEREIRA DIAS

**ANÁLISE DO USO DE GEOGRELHA PARA REFORÇO DE SOLO NA  
APLICAÇÃO DE FUNDAÇÃO SUPERFICIAL**

Monografia apresentada à coordenação do curso superior em Engenharia Civil, da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), campus I, João Pessoa/PB, como pré-requisito parcial para obtenção do diploma de conclusão do curso.

Orientador: Prof.º Fábio Lopes

JOÃO PESSOA  
2020

Catálogo na publicação  
Seção de Catalogação e Classificação

D541a Dias, Andre Pereira.  
Análise do uso de geogrelha para reforço de solo na  
aplicação de fundação superficial / Andre Pereira Dias.  
- João Pessoa, 2020.  
56 f. : il.

Orientação: Fábio Soares.  
Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. solo reforçado. 2. geogrelha. 3. fundação  
superficial. 4. resistência. 5. geossintético. I.  
Soares, Fábio. II. Título.

UFPB/BC

## FOLHA DE APROVAÇÃO

ANDRÉ PEREIRA DIAS

### ANÁLISE DO USO DE GEOGRELHA PARA REFORÇO DE SOLO NA APLICAÇÃO DE FUNDAÇÃO SUPERFICIAL

Trabalho de Conclusão de Curso em 01/04/2020 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Fábio Lopes Soares APROVADO  
Fábio Lopes Soares  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Aline Flávia Nunes Remígio Antunes APROVADO  
Aline Flávia Nunes Remígio Antunes  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Enildo Tales Ferreira APROVADO  
Enildo Tales Ferreira  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

ABSilva  
Prof. Andrea Brasiliano Silva  
Matricula Siape: 1549557  
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelas grandes coisas que ele tem me concedido e pela oportunidade de ter chegado até aqui.

Aos meus pais, Tadeu e Aparecida, agradeço pelo incentivo, pela força e pelo conforto nos momentos mais difíceis dessa caminhada. Também quero agradecer a minha irmã Thamires por sempre ter ficado do meu lado nos momentos mais difíceis.

Agradeço a toda minha família e amigos que sempre me apoiaram com incentivo e orações.

Ao meu orientador, Fábio Soares, pelo incentivo e conhecimento profissional transmitido durante a graduação e no período de orientação.

A ENGEOBASE, empresa com a qual tive a possibilidade de realizar os meus ensaios, agradeço por disponibilizar os equipamentos e profissionais para o desenvolvimento de ensaios do meu trabalho de conclusão de curso.

Agradeço à Aline Remígio Nunes pela disponibilidade em participar desta banca, amizade, carinho, incentivo e pela grande contribuição em conhecimento na área de geossintéticos.

A Enildo Tales Ferreira, por se disponibilizar em participar desta banca e pelo incentivo acadêmico e profissional que sempre demonstrou.

Aos amigos conquistados no período da graduação, Davi Leite, Ana Kryslene, Leonardo Ferreira, Jorge Luiz e Camila Andrade, que sempre ajudou, incentivou e compartilhou conhecimento.

Finalmente agradeço aos professores da UFPB que contribuíram para minha formação profissional.

## RESUMO

Com o aumento da demanda pelo uso do solo destinado a construções de pequeno e médio porte, há uma necessidade de se utilizar, cada vez mais recorrente, terrenos não apropriados ao uso de fundações superficiais. Isso porque, esse tipo de estrutura necessita basicamente de uma resistência considerável do solo a baixa profundidade de escavação. No intuito de não recorrer a soluções mais robustas de fundação, para esses casos, existem meios de adaptar o solo a resistir as cargas que o serão solicitadas. Uma das soluções que pode ser utilizada no reforço de solos é a aplicação de geossintéticos. Este é um material polimérico produzido industrialmente com a função de melhorar ou substituir materiais convencionais, devido a sua grande aplicabilidade frente as diferentes solicitações. Para a alternativa de reforço, utilizando especificamente a geogrelha, pode-se entender como solo reforçado pois nele é inserido um incremento de resistência à tração, sendo este sistema bastante atrativo devido a fácil instalação, baixo custo, rápida execução, entre outros. Sendo assim, o presente trabalho propõe avaliar o ganho de resistência em um solo para aplicação de fundação superficial de uma edificação e com isso obter um indicativo do uso da geogrelha como material de reforço geotécnico. Para tanto foi realizado os ensaios de caracterização do solo, e o teste de prova de carga, segundo as recomendações da NBR 6489 (2019) para o solo em seu estado natural, a uma profundidade de 1,00 metro, e com o solo reforçado com a geogrelha, a mesma profundidade de assentamento. Tendo os resultados da prova de carga para o solo em seu estado natural e reforçado foi possível obter a comparação da resistência do solo nos dois casos e estimar o ganho de resistência, quando comparados. Esse ganho foi um indicativo do uso da geogrelha como material de reforço para o solo, no uso de fundações superficiais, com baixa interferência de equipamentos, mão de obra e custos relacionados, isto é, se atender as resistências esperadas.

**Palavras chaves:** solo, resistência, geossintético, geogrelha, fundações superficiais, solo reforçado.

## ABSTRACT

With the increase in demand for land use for small and medium-sized buildings, there is a need to use, more and more frequently, ground not suitable for the use of shallow foundations. This is because, this type of structure basically requires a considerable resistance of the soil at low digging depth. In order not to resort to more deep foundation solutions, for these cases, there are ways to adapt the soil to resist the loads that will be have to requested. One of the solutions that can be used in soil reinforcement is the application of geosynthetics. This is a polymeric material produced industrially with the function of improving or replacing conventional materials, due to its great applicability in the face of different demands. For the reinforcement alternative, using specifically the geogrid, this process can be understood as reinforced soil because in it an increase in tensile strength is inserted in it, this system being quite attractive due to easy installation, low cost, quick execution, among others. Therefore, the present paper proposes to evaluate the gain of resistance in a soil for the application of the shallow foundation of a building and thereby obtain an indication of the use of the geogrid as a geotechnical reinforcement material. For this, soil cacarterization tests were carried out, and the load proof test, according to the recommendations of NBR 6489 (2019) for the soil in its natural state, at a depth of 1.00 meters, and with the soil reinforced with geogrid, for the same depth. Have to the results of the load test for the soil in it's natural and reinforced state it was possible to obtain a comparison of soil resistance in both cases and to estimate the resistance gain when compared. This gain was indicative of the use of the geogrid as reinforcement material for the soil, in the use of surface foundations, with low interference from equipment, labor and related costs, that is, if it meets the expected resistance.

**Keywords:** land, resistance, geosynthetics, geogrid, shallow foundations, soil reinforced.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de Fundações .....	19
Figura 2 - Formas das sapatas.....	20
Figura 3 - Sapatas associadas .....	20
Figura 4 - Sapata de divisa .....	21
Figura 5 – Tipos de geogrelha’ .....	24
Figura 6 – Esquema de efeito do reforço em uma amostra de solo (a) não reforçado (b) reforçado .....	25
Figura 7 - Fundação direta com camada compressível profunda .....	27
Figura 8 - Gráfico Tensão x Recalque.....	29
Figura 9 – Bulbo de tensão para placa e para uma sapata .....	30
Figura 10 – Esquema de prova de carga no terreno natural .....	31
Figura 11 – Esquema de prova de carga com o reforço da geogrelha.....	32
Figura 12 – Curva granulométrica do solo estudado.....	33
Figura 13 - Resumo dos ensaios realizados.....	34
Figura 14 - Montagem das vigas de reação .....	35
Figura 15 – (a)medições das dimensões (b)processo de escavação .....	35
Figura 16 – Posicionamento: (a) placa inferior e coluna (b) placa superior e célula de carga. 36	
Figura 17 – (a) relógios extensômetros (b) bomba (auxilia na aplicação da carga).....	36
Figura 18 – Estrutura de ensaio montada .....	37
Figura 19 – Envelopamento do solo e montagem da estrutura de ensaio.....	38
Figura 20 – Ensaio de prova de carga para o solo reforçado.....	39
Figura 21 – Gráfico Tensão(tf/m <sup>2</sup> ) x Recalque(mm) para o solo natural .....	41
Figura 22 – Gráfico de VAN DER VEEN para o solo natural.....	41
Figura 23 – Gráfico Tensão(tf/m <sup>2</sup> ) x Recalque(mm) para o solo reforçado.....	43
Figura 24 – Gráfico de VAN DER VEEN para o solo reforçado.....	43



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de geossintéticos e suas funções.....	23
Tabela 2 - Índices físicos do solo de estudo .....	33
Tabela 3 - Resultados do ensaio 1 (solo natural).....	40
Tabela 4 - Resultados do ensaio II (solo reforçado).....	42

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Critério de recalque .....	28
Equação 2 - Critério de ruptura .....	28
Equação 3 – Cálculo do recalque .....	29

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1	CONTEXTO E MOTIVAÇÃO .....	13
1.2	OBJETIVO .....	15
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	16
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
2.1	O SOLO COMO MATERIAL DE FUNDAÇÕES .....	17
2.2	FUNDAÇÕES .....	18
2.2.1	Sapatas de Fundação .....	19
2.3	GEOSSINTÉTICOS NO CONTEXTO DA GEOTECNIA.....	21
2.3.1	Geossintéticos aplicados em reforço de solos.....	22
2.3.1.1	Geotêxteis .....	22
2.3.1.2	Geogrelhas .....	23
2.4	DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE CARGA: TESTE DE PROVA DE CARGA 26	
2.4.1.1	Metodologia de Execução .....	27
2.4.1.2	Interpretação dos resultados.....	28'
2.4.1.3	Estrapolação dos resultados .....	29
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>30</b>
<b>4</b>	<b>ENSAIOS PARA O ESTUDO DE CAPACIDADE DE CARGA .....</b>	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS .....</b>	<b>32</b>
5.1	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO.....	32
5.2	DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....	34
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>39</b>
6.1	RESULTADOS .....	39
6.2	DISCUSSÕES .....	44
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>45</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>46</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 CONTEXTO E MOTIVAÇÃO

As fundações são estruturas com a função de suportar e transferir a carga que recebem das superestruturas para o solo. Um projeto de fundações envolve considerar todos os fatores envolvidos na determinação do tipo de elemento escolhido para transmitir essas cargas para o solo. De acordo com esse tipo de elemento tem-se as seguintes denominações: fundações rasas, profundas ou intermediárias. (BATISTA, 2004)

As fundações rasas (ou diretas) são aquelas que se apoiam sobre o solo a uma pequena profundidade. Podem ser dos tipos: sapatas (isoladas, contínuas ou associadas), blocos de fundação e radier. As fundações profundas são aquelas que se apoiam nas camadas mais profundas de solo. Podem ser estacas (de concreto, aço ou madeira) ou tubulões. Já as fundações mistas consistem em uma combinação dos tipos rasa e profunda. (BATISTA, 2004)

O aumento da demanda pelo uso do solo levou a escassez de terrenos para construção e com isso a necessidade maior utilização de áreas problemáticas para fins de construção. Por isso, é comum encontrar na natureza porções de solo que não apresentam as condições ideais, ou onde há dúvidas, quanto à aplicabilidade da construção, tornando assim, essas áreas dessas restritas a técnicas mais onerosas de implementação. (LOPES, 2019)

As fundações profundas, são uma das opções disponíveis nesses casos, a depender das variáveis expostas ao problema. No entanto, além de onerosas, elas apresentam uma série de inconvenientes do ponto de vista construtivo, como maior tempo de execução e equipamentos mais sofisticados. Requerem maiores profundidades de escavação, o que dependendo do método usado aumenta o risco para os trabalhadores na obra. (BATISTA, 2004)

Contudo, a incapacidade de suporte do solo ainda precisa ser solucionada, por isso e todas as considerações acima, percebeu-se a importância de uma solução alternativa em que, elevando a capacidade de suporte do solo, fosse possível reduzir a estrutura da fundação. Daí vem o uso de geossintéticos como reforço de fundações diretas, que permite a sua execução em situações que normalmente seriam inviáveis (VERTEMATTI, 2015).

Os geossintéticos, empregados como reforço do solo, têm sido utilizados como um meio eficiente de melhoramento do desempenho de fundações superficiais. Estes oferecem soluções econômicas e tecnicamente avançadas em obras de fundações. O uso de geossintéticos pode significar menor volume de transporte, escavação, menos elaboradas técnicas construtivas,

menor custo com equipamentos sofisticados e diminuição de mão de obra resultando em uma melhor relação custo benefício. No caso de fundações rasas, ele trabalha melhorando o suporte do solo, em que a zona composta resultante, camada de solo reforçado, pode melhorar a capacidade de carga do maciço de fundação e proporcionar uma melhor distribuição de pressão nos solos fracos subjacentes, reduzindo assim os assentamentos associados. (LOPES, 2019).

Para tal, vêm se desenvolvendo esforços no sentido de caracterizar as propriedades destes materiais, de se adequar ensaios às finalidades a que se destinam e de elaborar métodos de dimensionamento que consideram as características das obras e dos materiais utilizados. (VERTEMATTI, 2015)

As geogrelhas e os geotêxtis são os tipos de geossintéticos comumente empregados como elemento de reforço de solo e se mostram eficazes principalmente porque oferecem boa resistência à tração e uma adequada interação com o solo. (VERTEMATTI, 2015)

No contexto do melhoramento dos solos para aplicação de fundações, sabe-se que uma maneira de avaliar essa melhoria seria por meio da capacidade de carga do solo.

A esse respeito, Alonso (1998, p. 45) diz que “a capacidade de carga, contra a ruptura de um elemento de fundação, é aquela que aplicada ao mesmo, provoca o colapso ou o escoamento do solo que lhe dá suporte ou do próprio elemento”. Assim, salienta o autor, essa capacidade de carga é obtida pelo menor dos dois valores:

- a) Resistência estrutural do material (ou materiais) que compõe o elemento da fundação;
- b) Resistência do solo que dá suporte ao elemento.

A determinação dessa capacidade de suporte do solo de implantação das cargas da fundação vem da capacidade de carga de suporte, determinada por modelos teóricos ou empíricos, de acordo com a norma brasileira NBR 6122 (2019).

Portanto, a fim de avaliar as características dos geossintéticos na aplicação de fundações diretas, o presente trabalho visa determinar a capacidade de carga de um solo em estado natural e reforçado com geogrelha soldada e assim comparar os resultados para obter os resultados sobre a possibilidade de melhor desempenho da interação solo-geossintético e conseqüentemente da sua capacidade de suporte.

## 1.2 OBJETIVO

O objetivo geral da pesquisa é avaliar a resistência de um solo reforçado com o uso de uma geogrelha soldada na aplicação de fundações superficiais, por meio do teste de capacidade de carga (prova de carga sobre placa), conforme a NBR 6489 (2019).

A fim de alcançar o objetivo geral, alguns objetivos específicos foram definidos:

- a) Realizar ensaio de caracterização com amostras de solo e o ensaio de **prova de carga sobre placa** de acordo com as recomendações da norma brasileira, NBR 6489/2019 – Prova de carga estática em fundação direta – para o solo em estado natural e envelopado com a geogrelha;
- b) Comparar os resultados de resistência do solo natural e do solo reforçado com a geogrelha e verificar se a combinação (solo + geogrelha) pode ser aplicada como estrutura de apoio para as sapatas de edificações;

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho foi estruturado em seis capítulos. No capítulo atual, apresenta-se uma visão geral sobre a importância das características do solo para a construção de edifícios, principalmente no que diz respeito a aplicação de fundações diretas, ainda que associado a matérias de reforço, bem como as metodologias de avaliação dos fatores de resistência relacionados.

O segundo capítulo estabelece a fundamentação teórica da pesquisa, ao trazer os conceitos sobre os solos como materiais de construção civil, fundações (especialmente as diretas), os geossintéticos bem como a associação desses materiais quando falamos na capacidade de suporte para aplicação de fundações diretas.

O terceiro capítulo determina os modelos de estudo empíricos que serão utilizados na determinação da capacidade de suporte do solo, quando em seu estado natural, e quando em seu estado de reforço com a geogrelha.

O quarto capítulo reúne todos os procedimentos para a realização dos ensaios experimentais.

O quinto capítulo apresentou os resultados obtidos dos ensaios de prova de carga direta e recalque, bem como as discussões a respeito dos resultados.

O sexto capítulo apresenta as conclusões, a partir dos resultados obtidos, a respeito do uso da geogrelha no melhoramento do solo, no que diz respeito a sua capacidade de suporte.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 O SOLO COMO MATERIAL DE FUNDAÇÕES

Um dos elementos de importância na tomada de decisões para a construção de uma edificação envolve sua implantação. Esse é um fator que envolve parâmetros que vão além de características puramente técnicas, podendo afetar as condições econômicas, pessoais, de conforto e de contorno.

A implantação, do ponto de vista da engenharia civil, envolve conhecer o terreno. O terreno será o suporte da edificação durante toda a sua vida útil, então o conhecimento de suas características é de suma importância.

Dentre as diversas variações de padrão para quais o terreno pode estar submetido, no geral, sua composição é resultado da dinâmica ambiental a qual ele foi submetido ao longo dos anos. Então, pode-se dizer que o terreno é o resultado da sua interação com o meio ambiente. Tecnicamente, essas interações, desde sua origem, definem suas características para o uso na construção civil.

De modo geral, então, o terreno de uma construção é o solo ao qual a ela será implantada. Esse solo apresenta características intrínsecas, que devem ser estudadas para que sejam determinadas as melhores maneiras de implantação dessa edificação, isso porque os solos diferem grandemente de área para área, não só em quantidade (espessura de camada), mais também qualitativamente. Além disso, a depender dessas características, a tomada de decisões será mais eficaz na materialização da construção.

O estudo dessas características envolve conhecer diversos fatores, e estes, por sua vez, irão nortear os primeiros passos da construção. Esses estudos foram consolidados, desde muito cedo, com a aplicação das leis da mecânica e da hidráulica à Mecânica dos Solos. Nesta estão relacionadas as investigações dos tipos de grãos que compõem o solo, com as condições de contorno que o compõem além do seu comportamento frente a ações externas (como no caso da implantação de edificações). (CAPUTO, 2017)

Uma parte essencial nesses estudos do solo de fundações são as investigações referentes as propriedades de suas partículas (granulometria), as propriedades físicas (teor de umidade, peso específico e aparente, índice de vazios, etc.), as propriedades de plasticidade (limites de consistência, índice de plasticidade, índice de consistência, etc.) além das propriedades referentes à resistência a tensões, deformações e cisalhamento. (CAPUTO, 2017)



Todos esses dados podem ser colhidos em laboratório, de acordo com as recomendações normativas competentes a cada um deles e a partir desses resultados é possível chegar a uma classificação final dos solos. Os dois principais sistemas de classificação existentes são o Sistema Unificado de Classificação (Unified Classification System – USC) e a Classificação do Highway Research Board (HRB). Essa classificação reúne os solos segundo suas características e com elas é possível determinar a melhor aplicação em cada caso. (CAPUTO, 2017)

Outra técnica de investigação dos solos bastante utilizada no contexto das construções diz respeito a identificação das diversas camadas que compõem o terreno de construção.

Sabendo das classificações dos solos e suas aplicações recomendadas, sua investigação dará informações sobre as camadas do terreno resultando em uma análise técnica da melhor profundidade de aplicação da fundação ou da viabilidade da construção pretendida.

A aplicação executiva mais difundida atualmente para a técnica da investigação geotécnica é a sondagem a percussão (Standard Penetration Test – SPT). É um procedimento geotécnico de campo, capaz de fazer a amostragem das camadas do subsolo. Quando associada ao ensaio de penetração dinâmica (SPT), mede a resistência do solo ao longo da profundidade perfurada. (PRUDÊNCIO, 2011)

No Brasil, esse ensaio é normatizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas através da Norma NBR 6484 (2001).

Tendo coletadas as informações do solo, pode-se dizer que as informações preliminares de aplicação do solo foram determinadas. A partir dela inicia-se o processo constantemente citado nesse parágrafo. Iniciam-se as decisões a respeito da implantação da edificação no local de aplicação, segundo os critérios de economicidade e técnica construtiva mais vantajosos para a escolha da fundação escolhida. Em muitos casos, a fundação passa a ser função dos resultados encontrados, em outros, buscam-se as melhorias necessárias para que se permita a viabilidade da fundação pretendida. Em qualquer dos casos, o conhecimento das fundações, suas aplicações e características são essenciais nesse sentido.

## 2.2 FUNDAÇÕES

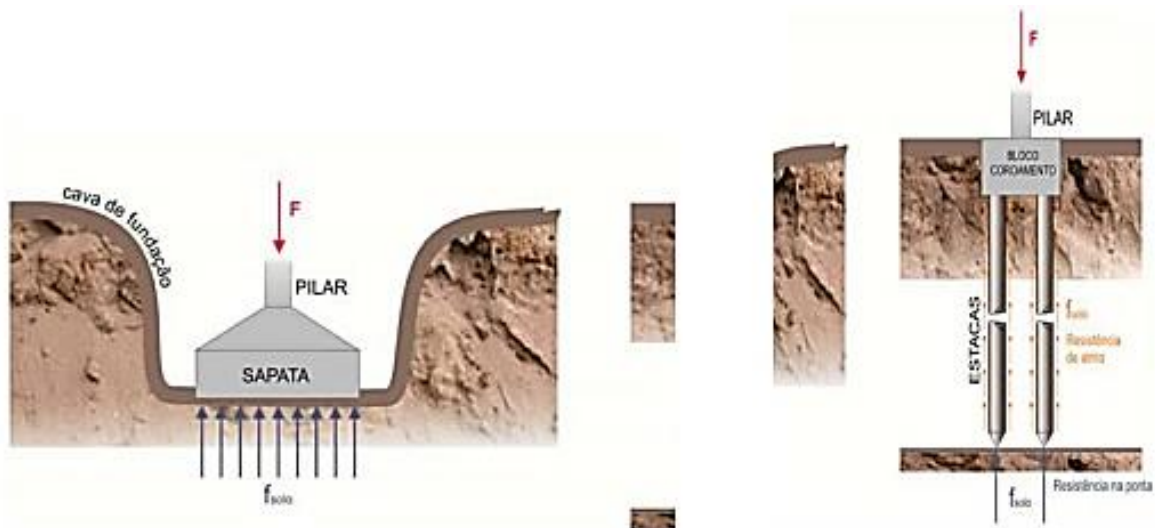
Qualquer obra de Engenharia Civil tem uma componente geotécnica, visto que possui pelo menos a fundação. É o caso dos edifícios, as estruturas mais correntes. Estas podem ser superficiais, se os terrenos possuírem superficialmente capacidades resistentes adequadas às

cargas previstas e às dimensões das fundações, ou profundas, caso seja necessário procurar a maiores profundidades as características resistentes que não estão à superfície. (BATISTA, 2004)

- a) Fundações superficiais (ou "diretas")
- b) Fundações profundas.

A distinção entre estes dois tipos é feita, segundo a NBR 6122 (2019), de que uma fundação superficial é aquela cujo mecanismo de ruptura de base atinge até duas vezes sua menor dimensão, e as fundações profundas são aquelas cujas bases estão implantadas a mais de duas vezes sua menor dimensão, e ao menos 3,00m de profundidade (Figura 1).

No que diz respeito as fundações superficiais, elas podem ser: as sapatas, os blocos, os radier, as sapatas associadas, as vigas de fundação e as sapatas corridas.



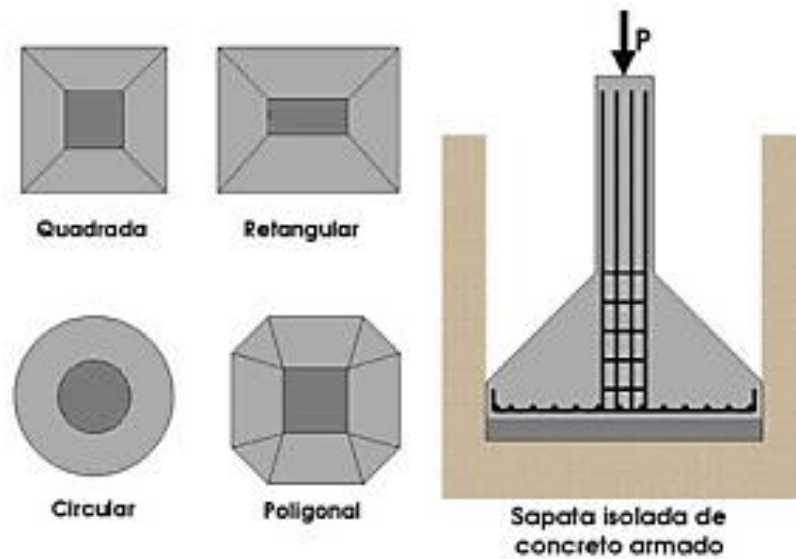
**Figura 1 - Tipos de Fundações**

**Fonte: RESENDE, GOULART, ANDRADE JÚNIOR, 2018.**

Para essa pesquisa, o enfoque será dado as sapatas de fundação, que serão objeto de estudo de trabalho, associados a elementos de reforço.

### 2.2.1 Sapatas de Fundação

As sapatas são elementos de apoio de concreto armado, de menor altura que os blocos, que resistem principalmente por flexão. Quando isoladas, assumem o mesmo centro de gravidade (CG) do pilar. Estas podem ainda assumir praticamente qualquer forma em planta (Figura 2), sendo as mais frequentes as sapatas quadradas ( $B=L$ ), retangulares e corridas ( $L \gg B$ ). (RESENDE, GOULART, ANDRADE JÚNIOR; 2018)

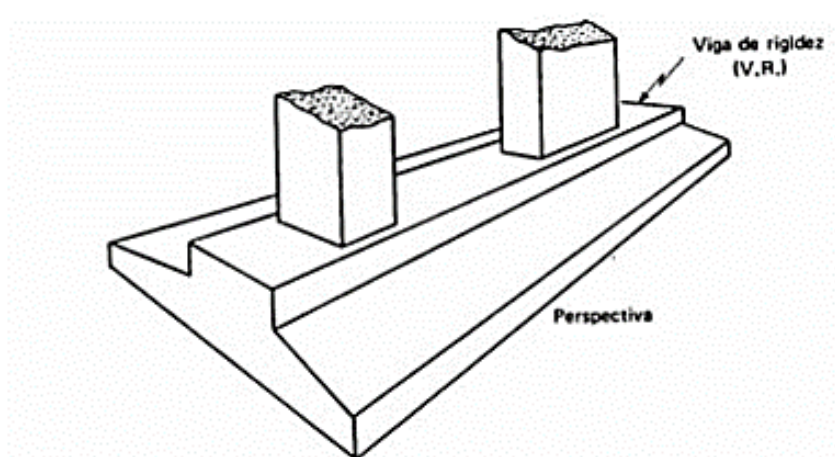


**Figura 2 - Formas das sapatas**

**Fonte: RESENDE, GOULART, ANDRADE JÚNIOR, 2018.**

Para efeito de cálculos geotécnicos, considera-se como retangular uma sapata em que  $L \leq 5B$ .

Além dos tipos fundamentais acima, deve-se também reconhecer as sapatas associadas, as quais são empregadas nos casos em que, devido à proximidade dos pilares, não é possível projetar-se uma sapata isolada para cada pilar. Nestes casos, uma única sapata serve de fundação para dois ou mais pilares (Figura 3). (RESENDE, GOULART, ANDRADE JÚNIOR; 2018)

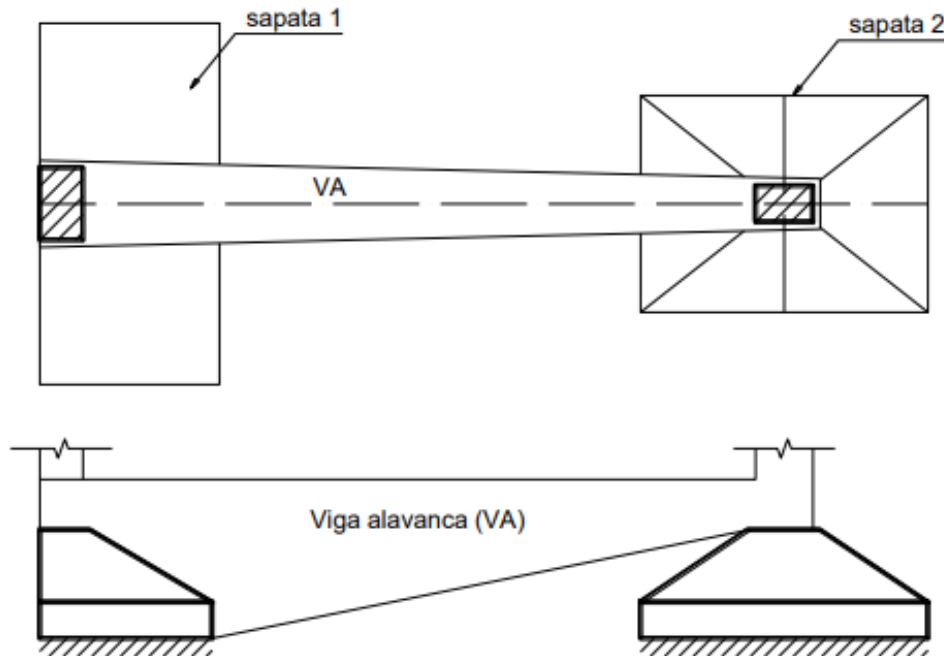


**Figura 3 - Sapatas associadas**

**Fonte: RESENDE, GOULART, ANDRADE JÚNIOR, 2018.**

No caso de pilares encostados em divisas, ou junto ao alinhamento de uma calçada, não é possível projetar-se uma sapata centrada no pilar, recorrendo-se então a uma viga de equilíbrio (viga alavanca VA) a fim de corrigir a excentricidade existente entre o ponto de aplicação da

carga do pilar e o centro geométrico (CG) da sapata , conforme ilustrado na Figura 4, abaixo.  
(BASTOS, 2019)



**Figura 4 - Sapata de divisa**

**Fonte: BASTOS, 2019**

### 2.3 GEOSSINTÉTICOS NO CONTEXTO DA GEOTECNIA

Os geossintéticos são materiais de origem industrial polimérico (sintéticos ou naturais), bastante utilizado em obras geotécnicas, os quais desempenham principalmente funções de: reforço, filtração, drenagem, proteção, separação, controle de fluxo (impermeabilização) e controle de erosão superficial. (CONSTANCIO, 2010)

Sua presença tem se tornado indispensável em muitas obras geotécnicas da atualidade. A grande versatilidade destes produtos vem permitindo resolver problemas complexos seja pelos altos custos de uma proposta convencional ou pela amplitude das solicitações ou das restrições impostas. Além disso, sua instalação é, na maioria das vezes, rápida e simples. (BORGES, 2012)

Os geossintéticos podem ser classificados de acordo com a função a que se destinam em: geotêxtis, geogrelhas, geomembranas, geocompostos, geocélulas, entre outros. Voltados para o reforço de solos, são amplamente utilizados os geotêxtis e as geogrelhas, que serão objetos de estudo dessa pesquisa.

Para essa função, esses materiais proporcionam maior resistência à tração. A resistência ao arrancamento e a resistência ao cisalhamento direto são as propriedades do sistema solo-reforço. (BORGES, 2012)

### **2.3.1 Geossintéticos aplicados em reforço de solos**

Para a situação de estabilização de solos com geossintéticos, os mais utilizados são geogrelhas, geotêxteis e os geodrenos. Entretanto, os geodrenos funcionam para acelerar o adensamento e, especificamente para o reforço de aterros, são comumente utilizados geotêxteis e geogrelhas.

#### **2.3.1.1 Geotêxteis**

Os geotêxteis são produtos têxteis flexíveis e permeáveis. São formados a partir da extrusão dos polímeros após terem sido fundidos, resultando em um produto de aparência alongada. Os geotêxteis sintéticos são produzidos em geral com polipropileno (PP) ou poliéster (PET). (BORGES, 2012)

Os geotêxteis classificam-se em tecidos e não tecidos, em função da disposição das estruturas das fibras que o compõem:

- a) Geotêxtil não tecido: Material composto por fibras cortadas ou filamentos contínuos, distribuídos aleatoriamente, os quais são interligados por processos mecânicos, térmicos ou químicos. De acordo com esses processos são classificados em: agulhados, termoligados ou resinados. Os geotêxteis agulhados têm as fibras interligadas mecanicamente por meio de agulhas dentadas. Os termoligados, por fusão parcial das fibras obtidas por aquecimento. Já os resinados têm as fibras unidas por produtos químicos.
- b) Geotêxtil tecido: Material formado pelo entrelaçamento de fios segundo direções pré-determinadas - trama (sentido transversal) e urdume (sentido longitudinal). Os geotêxteis tricotados têm suas fibras interligadas por tricotamento dos fios e são utilizados basicamente para reforço. Os geotêxteis podem ser reforçados através da introdução de elementos como costuras, fios de aço, fios sintéticos, entre outros, com a finalidade de melhorar suas propriedades mecânicas. (BORGES, 2012)

Os geossintéticos podem ser classificados segundo suas propriedades e funções. A Tabela 1 - Tipos de geossintéticos e suas funções apresenta um resumo dos principais tipos de geossintéticos e as suas correspondentes funções.

Geossintético	Função				
	Separação	Reforço	Filtração	Drenagem	Impemebilização
Geotêxtil	1 ou 2	1 ou 2	1 ou 2	1 ou 2	1 ou 2*
Geogrelha	n/a	1	n/a	n/a	n/a
Georede	n/a	n/a	n/a	1	n/a
Geomembrana	n/a	n/a	n/a	n/a	1
Geocomposto**	1 ou 2	1 ou 2	1 ou 2	1 ou 2	1 ou 2

\*Quando impregnado com asfalto.

\*\* Assiciam geossintéticos com várias finalidades.

Legenda: 1 - Função principal; 2 - função secundária; n/a - não se aplica.

**Tabela 1 - Tipos de geossintéticos e suas funções**

**Fonte: BORGES, 2012**

Da Tabela 1 tem-se que os tipos de geossintéticos mais comumente empregados como elementos de reforço de solo são os geotêxteis e as geogrelhas. No entanto, os geotêxteis são produtos têxteis flexíveis e porosos, sendo um dos geossintéticos mais versáteis do ponto de vista de aplicações. As geogrelhas, que por sua vez são o objeto de estudo, são estruturas rígidas, planas, vazadas em forma de grelha, compostas de elementos transversais, longitudinais e junções entre estes elementos. (BORGES, 2012)

### 2.3.1.2 Geogrelhas

As geogrelhas são elementos planos com estrutura em forma de grelha, com função predominante de reforço, cujas aberturas permitem a interação do meio em que estão confinadas, constituído por elementos resistentes à tração.

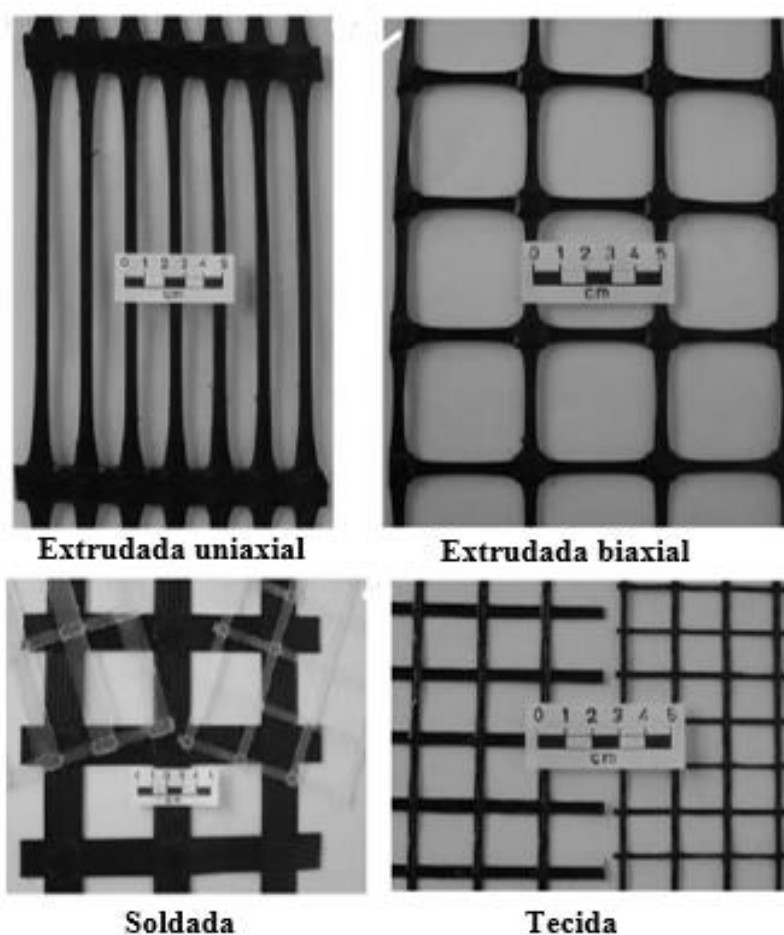
No geral, as geogrelhas devem apresentar elevada resistência e rigidez à tração, proporcionadas pela grande variação de geometria, rigidez e resistência advinda da especificação e utilização recomendada. Com este geossintético pode-se fazer aterros altos e taludes íngremes, economizando assim em material de preenchimento.

Em função do processo de fabricação as geogrelhas podem ser extrudadas, soldadas ou tecidas, conforme as configurações apresentadas na Figura 5 –:

Geogrelha extrudada (GGE): Obtida através de processo de extrusão e posterior estiramento, podendo ser unidirecionais bidirecionais.

Geogrelha soldada (GGB): Composta por elementos de tração longitudinais e transversais produzidos geralmente a partir de feixes de filamentos têxteis sintéticos, recobertos por um revestimento protetor e soldados nas juntas. Atualmente temos também geogrelhas soldadas a laser, com elementos extrudados.

Geogrelha tecida (GGW): Composta por elementos de tração longitudinais e transversais produzidos geralmente a partir de feixes de filamentos têxteis sintéticos, tricotados ou intertecidos nas juntas e recobertos por um revestimento. (BORGES, 2012)



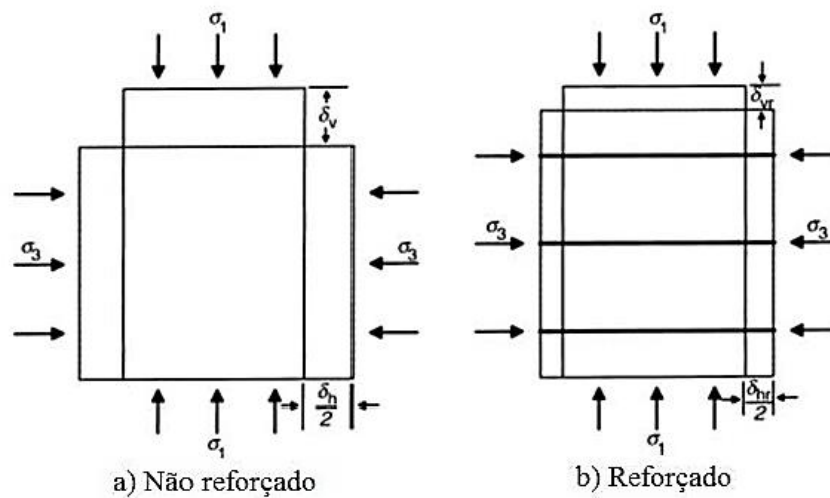
**Figura 5 – Tipos de geogrelha**

**Fonte: Adaptado Borges, 2012**

Reforçar um solo com uma geogrelha consiste em posicioná-las em determinadas regiões do solo de forma a causar uma redistribuição favorável de tensões.

Este mecanismo advém da combinação da resistência à compressão do solo com a resistência à tração da geogrelha, resultando uma estrutura resistente internamente a cargas elevadas, sem sofrer danos relacionados a deformações excessivas (NETO, FUTAI; 2016).

Continuando ainda nos estudos dos autores Neto e Futai (2016), eles demonstram o comportamento estrutural dos modelos (solo e solo+geogrelha) frente as ações expostas. Para isso eles utilizam uma amostra de areia seca confinada por uma pressão externa de compressão  $\sigma_3$  e carregada por uma tensão de compressão  $\sigma_1$ , com  $\sigma_1 > \sigma_3$ , conforme pode ser visto na Figura 6 –, abaixo. Segundo os autores, a amostra não reforçada sob a ação deste carregamento, sofrerá uma compressão axial  $\delta_v$  e uma expansão lateral  $\frac{1}{2}\delta_h$ , como mostra a Figura 6 –. Esta expansão lateral está associada a deformações laterais de tração no interior do solo.



**Figura 6 – Esquema de efeito do reforço em uma amostra de solo (a) não reforçado (b) reforçado**

**Fonte: NETO, FUTAI; 2016**

Com várias camadas horizontais de reforço (Figura 6 –b) e as mesmas cargas externas forem aplicadas, as deformações resultantes serão  $\delta_{vr}$  e  $\frac{1}{2}\delta_{hr}$ , onde  $\delta_{vr} < \delta_v$  e  $\frac{1}{2}\delta_{hr} < \frac{1}{2}\delta_h$ . Então ocorre o aparecimento de uma tensão adicional resultante da interação interna entre o solo e geogrelha (NETO, FUTAI; 2016).

Quando uma carga axial é aplicada ao solo reforçado, ocorre uma deformação compressiva axial e a deformação lateral resultante de tração.

Se o reforço tiver uma rigidez axial à tração maior que a do solo, o movimento lateral do solo ocorrerá somente se o solo se movimentar em relação ao reforço. Desde que a superfície do reforço seja suficientemente rugosa, o movimento relativo do solo em relação ao reforço ocasionará tensões de cisalhamento na interface solo/reforço (NETO, FUTAI; 2016).



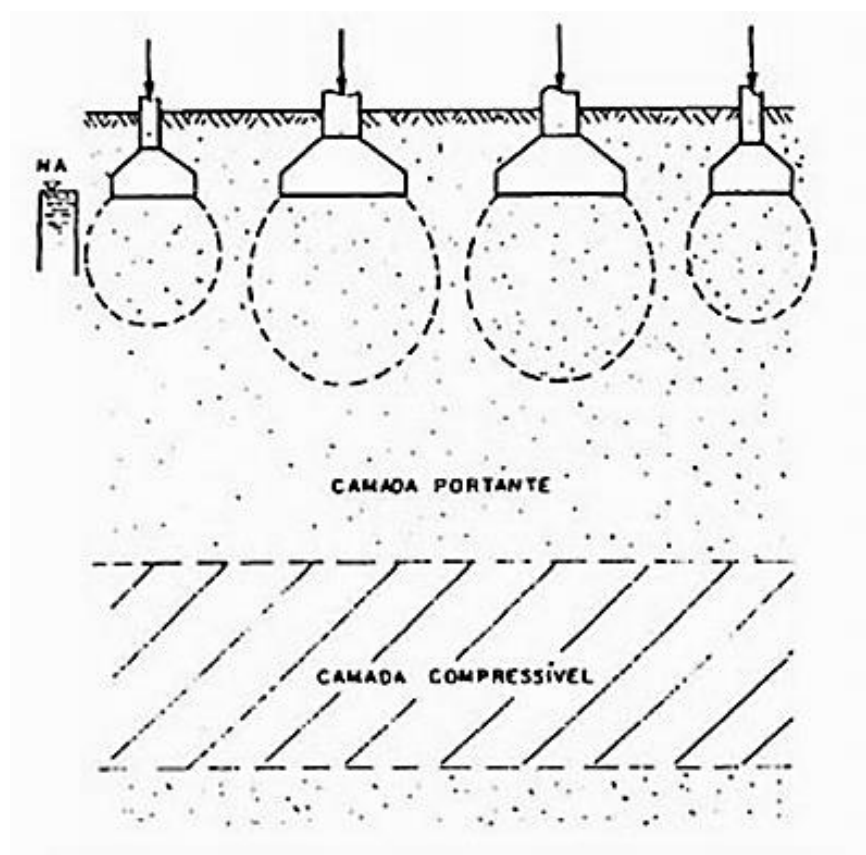
## 2.4 DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE CARGA: TESTE DE PROVA DE CARGA

A metodologia adotada para avaliar o solo quando reforçado foi por meio da sua capacidade de carga e de suas medidas de recalque. A norma brasileira NBR 6122 (2019) determina que essa capacidade de carga pode ser determinada por um dos seguintes critérios:

- a) Teóricos: Faz-se um cálculo de capacidade de carga à ruptura; a partir desse valor, a pressão admissível é obtida mediante a introdução de um coeficiente de segurança igual ao recomendado pelo autor da teoria. O coeficiente de segurança deve ser compatível com o grau de conhecimento das características do solo e nunca inferior a 3. A seguir, faz-se uma verificação de recalques para essa tensão, que, se conduzir a valores aceitáveis, será confirmada como admissível.
- b) Prova de carga sobre placa: é um ensaio realizado em campo, segundo as recomendações normativas da NBR 6489, em que se procura simular a ação das cargas de fundação impostas ao solo.
- c) Métodos semiempíricos: são aqueles em que as propriedades dos materiais são estimadas com base em correlações e são usadas em teorias de Mecânica dos Solos.
- d) Por métodos empíricos: são considerados métodos empíricos aqueles pelos quais se chega a uma tensão admissível com base na descrição do terreno.

Admitindo que o estudo se baseia no critério prova de carga sobre placa, admite-se que para efeitos teóricos esse é um ensaio em modelo reduzido de uma sapata, aplicada empiricamente na tentativa de obtenção de informações sobre o comportamento tensão-deformação de um determinado solo de fundação. (PRUDÊNCIO, 2011)

Um fator importante sobre a prova de carga sobre a placa exposta por HACHICH, Waldemar Coelho; FALCONI, F. F.; SAES, J; *et al.* (1996), por sua pequena dimensão, apenas o solo situado imediatamente abaixo da placa é solicitado durante uma prova de carga. No caso da Figura 7 - Fundação direta com camada compressível profunda, por exemplo, uma prova de carga superficial nos daria informações sobre a camada de areia de apoio das sapatas, mas não daria nenhuma informação sobre a camada compressível de solo profunda não atingida pelos resultados do ensaio. Por isso, essa é uma metodologia adotada para fundações diretas, onde a profundidade de implantação é de no máximo 3,00 metros, podendo ser avaliada pelos resultados do experimento.



**Figura 7 - Fundação direta com camada compressível profunda**

Fonte: HACHICH, Waldemar Coelho; FALCONI, F. F.; SAES, J; *et al.*, 1996

Outra medida de avaliação do reforço do solo é através da medição do recalque do solo, que em se fundações e o controle de sua dinâmica com o solo é de essencial importância (CAPUTO, 2017).

#### **2.4.1.1 Metodologia de Execução**

Como já mencionado, a realização de uma prova de carga é regimentada pela NBR-6489 (2019) - Prova de Carga Direta Sobre Terreno de Fundação.

No processo, uma placa de aço rígida de 80 cm de diâmetro é carregada em estágios por um macaco hidráulico contraposta a um elemento de reação (normalmente vigas bi apoiadas de travamento). Para se aplicar um novo estágio de carga é necessário ter cessado todo o processo recalques do estágio anterior. O processo de carga é aplicado até o rompimento do solo até que se atinja o dobro da tensão admissível afetada para o solo, ou um recalque excessivo. (HACHICH, Waldemar Coelho; FALCONI, F. F.; SAES, J; *et al.*, 1996)

Os efeitos de uma prova de carga geralmente são exibidos em forma de gráfico **Tensão x Recalque** junto com outros dados inerentes à montagem da prova, sua posição em planta e

elevação, ressaltados de sondagem próximos etc. (HACHICH, Waldemar Coelho; FALCONI, F. F.; SAES, J; *et al.*, 1996)

Para a medida de recalque, a execução se dá ao mesmo tempo da aplicação da carga da no ensaio de prova de carga direta e os resultados são colhidos por meio de relógios extensômetros (medidores de deslocamentos ortogonais).

#### 2.4.1.2 Interpretação dos resultados

Para interpretar os resultados de uma prova de carga é necessário atender sempre aos parâmetros de ruptura e recalques que conduzem qualquer projeto de fundação.

Assim, teríamos:

- a) Critério de recalque:  $\sigma < \sigma_0$

**Equação 1 - Critério de recalque**

**Fonte: HACHICH, Waldemar Coelho; FALCONI, F. F.; SAES, J; *et al.*, 1996**

- b) Critério de ruptura:  $\sigma < \sigma/F$

**Equação 2 - Critério de ruptura**

**Fonte: HACHICH, Waldemar Coelho; FALCONI, F. F.; SAES, J; *et al.*, 1996**

Em que:

$\sigma_x$  é a tensão que corresponde a um recalque  $x$  julgado admissível;

$\sigma''$ , tensão que corresponderá a um dos seguintes valores:

$\sigma = \sigma_0$ , quando a ruptura for alcançada na prova de carga (caracterizada pelo aumento incessante dos recalques sob tensão aplicada constante).

$\sigma = \sigma_0$ , tensão que corresponde a um recalque  $y$ . julgado excessivo (ruptura técnica).

$\sigma = \sigma_{max}$ , tensão máxima aplicada na prova de carga, quando não se alcançar nenhum dos casos anteriores.

F - Coeficiente de segurança, em geral 2.

$x = 3/8"$ . adotado 10 mm

$y = 1"$ . adotado 25 mm

$F = 2$  (HACHICH, Waldemar Coelho; FALCONI, F. F.; SAES, J; *et al.*, 1996)

Para exemplificar, os autores, HACHICH, Waldemar Coelho; FALCONI, F. F.; SAES, J; *et al.* (1996), trazem a prova de carga da Figura 8 - Gráfico Tensão x Recalque. Traçando-se uma curva contínua pelos pontos de estabilização dos recalques, obtém-se a curva Tensão x Recalques decorrente da prova de carga.

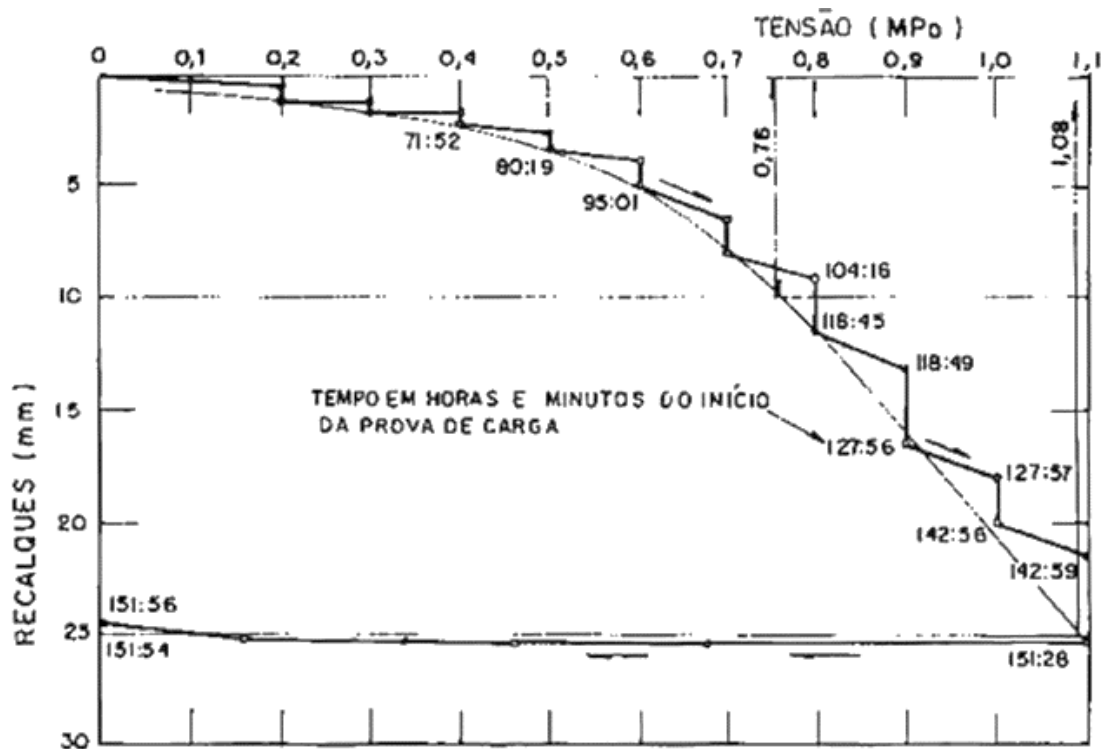


Figura 8 - Gráfico Tensão x Recalque

Fonte: HACHICH, Waldemar Coelho; FALCONI, F. F.; SAES, J; *et al.*, 1996

A partir dessa curva obtém-se:

$s = 10 \text{ mm} \rightarrow \sigma_{10} = 0,76 \text{ MPa}$  (critério de recalque)

$s = 25 \text{ mm} \rightarrow \sigma_{25} = 1,08 \text{ MPa}$  (critério de ruptura)

$\sigma_{25}/2 = 0,54 \text{ MPa}$ , então a tensão admissível seria  $\sigma_a \leq 0,54 \text{ MPa}$ . (HACHICH, Waldemar Coelho; FALCONI, F. F.; SAES, J; *et al.*, 1996)

### 2.4.1.3 Estrapolação dos resultados

Os efeitos de uma prova de carga sobre placa são usados para avaliar os recalques de uma sapata de fundação. Na Figura 9, duas sapatas circulares rígidas são exibidas uma do lado da outra apoiada à superfície de um solo linearmente elástico:

Para esse caso, o recalque “s”, será dado por:

$$s \gg 0,79 (1-\mu^2) \cdot a \cdot B / E$$

Equação 3 – Cálculo do recalque

Fonte: HACHICH, Waldemar Coelho; FALCONI, F. F.; SAES, J; *et al.*, 1996

Conhecidas as constantes elásticas  $\mu$  e  $E$ , o recalque será função da tensão aplicada e da dimensão B.

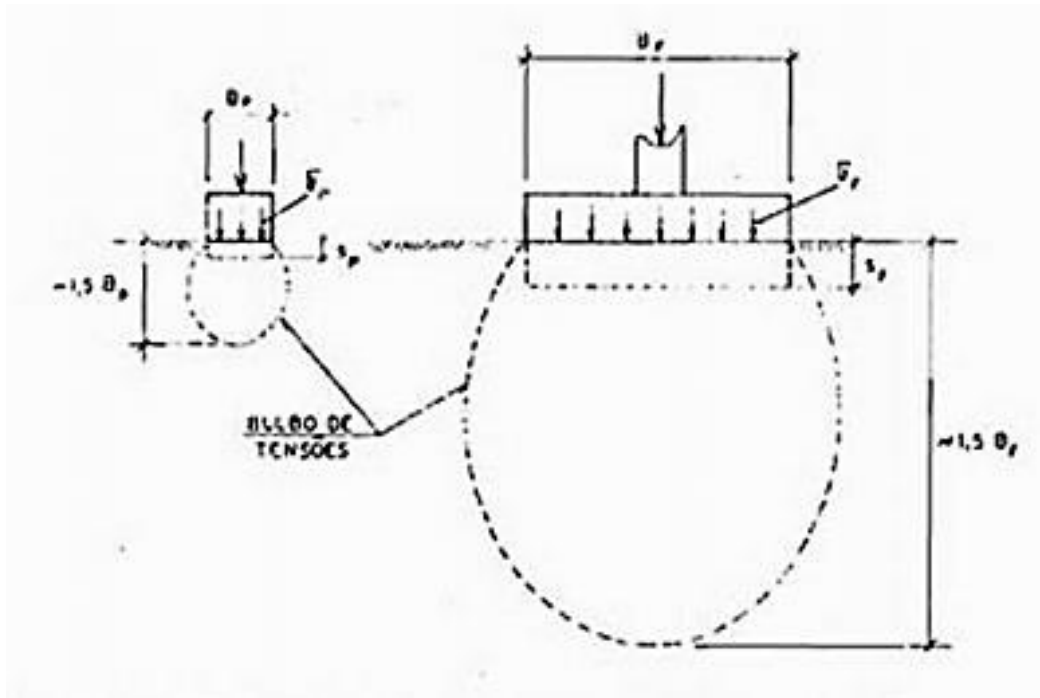


Figura 9 – Bulbo de tensão para placa e para uma sapata

Fonte: HACHICH, Waldemar Coelho; FALCONI, F. F.; SAES, J; *et al.*, 1996

### 3 METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos esperados para a pesquisa, buscou-se aplicar a seguinte metodologia:

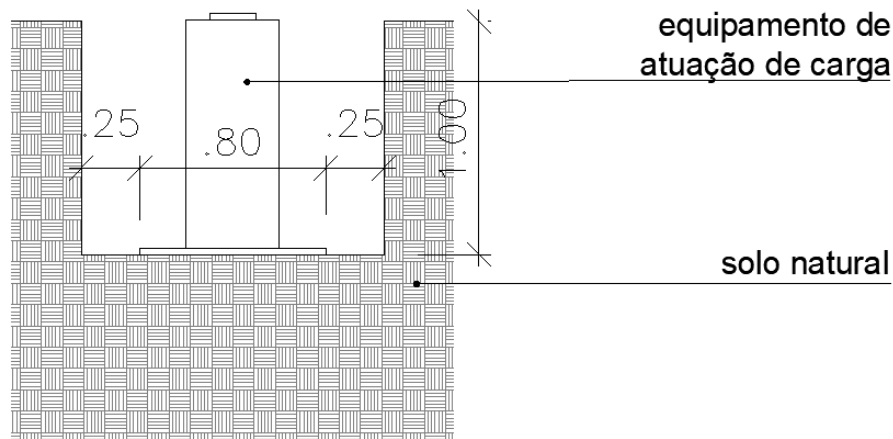
- Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica a respeito dos geossintéticos e suas aplicações a fim de determinar a melhor escolha de material para a aplicação em fundações diretas;
- Desenvolvimento dos modelos de estudo, no caso do teste de prova de carga em solo natural encontrado na escavação a 1,00 metro de profundidade e no caso do teste de carga para a o solo com duas camadas de 25 centímetros de solo envelopado com geogrelha a uma profundidade de 1,00 metro.
- Na fase experimental de laboratório, foram determinadas as características do solo, através dos ensaios de granulometria, densidade, limites de consistência (limites de liquidez e plasticidade), teor de umidade de compactação;
- Na fase experimental de campo (local de obra), foram determinadas as camadas componentes do solo as suas resistências correspondentes através do ensaio de sondagem, por meio do método SPT (Standard Penetration Test);

- e) Ainda na fase experimental, foram realizados os ensaios de prova de carga direta sobre placa, para o solo em estado natural e em estado de reforço com a geogrelha, concomitantemente as medições dos recalques para cada aplicação de carga;
- f) Os resultados dos dois ensaios foram comparados, sempre que possíveis, a fim de se obter com clareza o comportamento da capacidade de suporte do solo em ambos os casos;
- g) Por fim foi avaliado o uso da geogrelha como proposta de reforço do solo;

#### 4 ENSAIOS PARA O ESTUDO DE CAPACIDADE DE CARGA

Para obter as respostas esperadas, pretendeu-se estudar o solo segundo dois modelos pré-definidos e com seus resultados evidenciar a tese de reforço geotécnico com o uso da geogrelha.

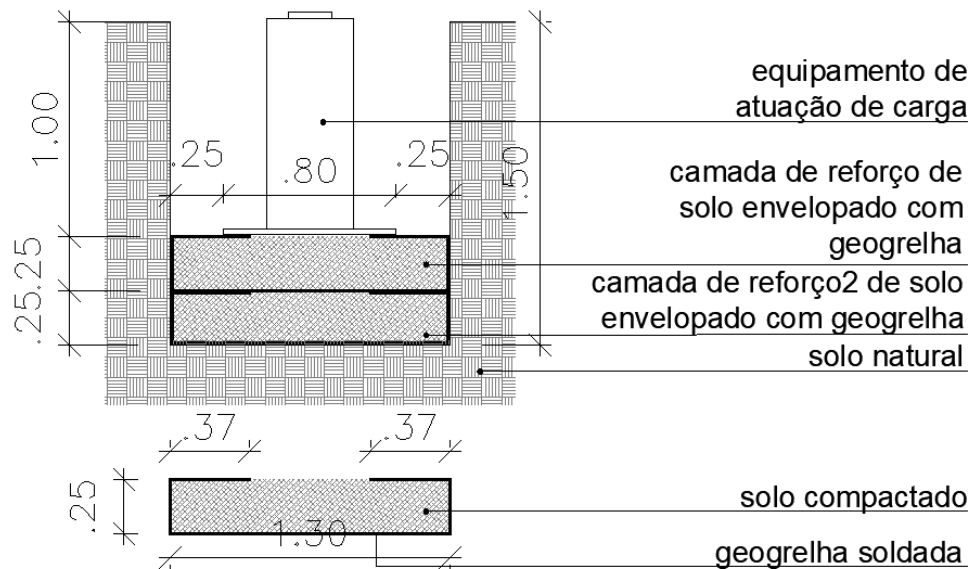
O primeiro modelo de estudo para o solo foi em seu estado natural, como na Figura 10 – Esquema de prova de carga no terreno natural Nesse estágio o solo foi escavado até 1 metro de profundidade e o ensaio foi realizado diretamente sobre o solo encontrado nessas condições.



**Figura 10 – Esquema de prova de carga no terreno natural**

**Fonte: Autor**

A segunda prova de carga efetuada no solo, foi uma simulação do estado de reforço com o uso da geogrelha (Figura 11). Nesse estágio, o solo foi escavado a 1,50 metros e a partir daí foram preparadas as camadas de envelopamento com a geogrelha.



**Figura 11 – Esquema de prova de carga com o reforço da geogrelha**

**Fonte: Autor**

A partir da definição de cada um dos modelos, estes foram reproduzidos em campo e ensaiados segundo os procedimentos e critérios citados no tópico anterior para obtenção e comparação dos resultados.

## 5 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

O programa experimental da pesquisa é composto de duas etapas:

- a) Caracterização dos materiais: corresponde a etapa de caracterização do solo, com a descrição dos ensaios e resultados obtidos.
- b) Análise experimental do solo para os dois modelos de estudo, com uma breve caracterização do objeto, descrição do processo executivo e dos ensaios realizados.

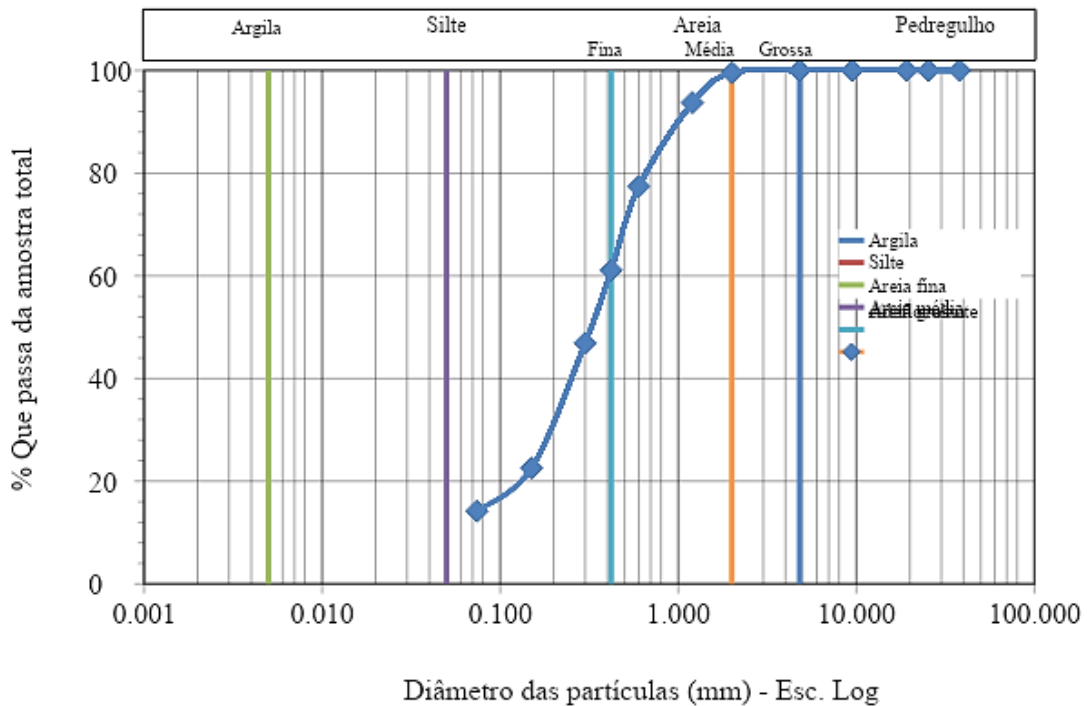
### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Para o início da fase experimental, buscou-se determinar e conhecer as características do material (solo) que será utilizado no ensaio de prova de carga para os dois modelos de estudo.

Essa caracterização foi feita parte no Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas (LABEME) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) parte no local da obra (Residencial localizado no Bairro de Mangabeira, João Pessoa, Paraíba).

Foram realizados os ensaios de Granulometria (DNER), Teor de Umidade (%W), Limites de Consistência do solo (Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade, Índice de Plasticidade), Densidade Real, Compactação (Teor de umidade ótima e massa específica seca máxima) e o NSPT (Realizado em campo).

Para o ensaio de granulometria, obteve-se a curva granulométrica da Figura 12 abaixo:



**Figura 12 – Curva granulométrica do solo estudado**

**Fonte: Autor**

Da Figura 12 acima é possível extrair que o solo é predominantemente composto por 38% de areia média, 47% de areia fina, 15% de silte e argila, chegando à conclusão que o solo pode ser classificado como uma areia argilosa.

Para os demais índices físicos do solo, os resultados obtidos estão reunidos na Tabela 2, abaixo:

ENSAIO		RESULTADO
DENSIDADE REAL		2,39
LIMITE DE LIQUIDEZ (LL)	ÍNDICE DE PLASTICIDADE (IP)	27,72%
LIMITE DE PLASTICIDADE (LP)		9,02%
TEOR DE UMIDADE (%W)		44,19%
COMPACTAÇÃO	UMIDADE ÓTIMA	14,00%
	MASSA ESP APAR SECA MXM	1,78

**Tabela 2 - Índices físicos do solo de estudo**

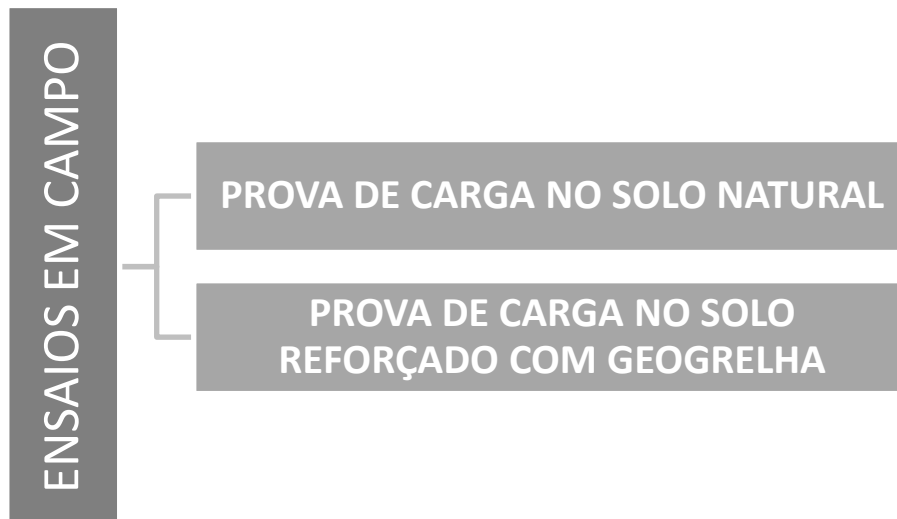
**Fonte: Autor**



Do ensaio de sondagem do solo (NSPT) feito em campo, obteve-se que para a camada de implantação da fundação direta, a 1,00m de profundidade, o solo é um silte areno argiloso pouco compacto com 1,35 metros de espessura. Pode-se extrair ainda que considerando todos os sete pontos de sondagem (NSPT) o solo varia com uma resistência entre 1 e 8. Esses dados podem ser conferidos no Apêndice A.

## 5.2 DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Para a obtenção dos resultados experimentais, o solo foi submetido a dois ensaios ordenadamente montados segundo a Figura 13 abaixo:



**Figura 13 - Resumo dos ensaios realizados**

**Fonte: Autor**

Os ensaios foram realizados nos dias 20 e 28 de fevereiro de 2020, no local da obra de uma edificação residencial localizada no Bairro de Mangabeira, João Pessoa, Paraíba.

O primeiro ensaio de prova de carga foi para o solo em estado natural, simulando a situação da aplicação da carga externa diretamente sobre o solo a uma profundidade de 1,00 metro de altura, conforme exposto nos modelos de estudo (Figura 10), no tópico anterior.

Para isso, inicialmente precisou-se montar toda a estrutura de reação para a realização do ensaio. Isso envolveu posicionar o travamento superior com duas vigas metálicas equipadas com oito conjuntos de tirantes simples ancorados (Figura 14).



**Figura 14 - Montagem das vigas de reação**

**Fonte: Autor**

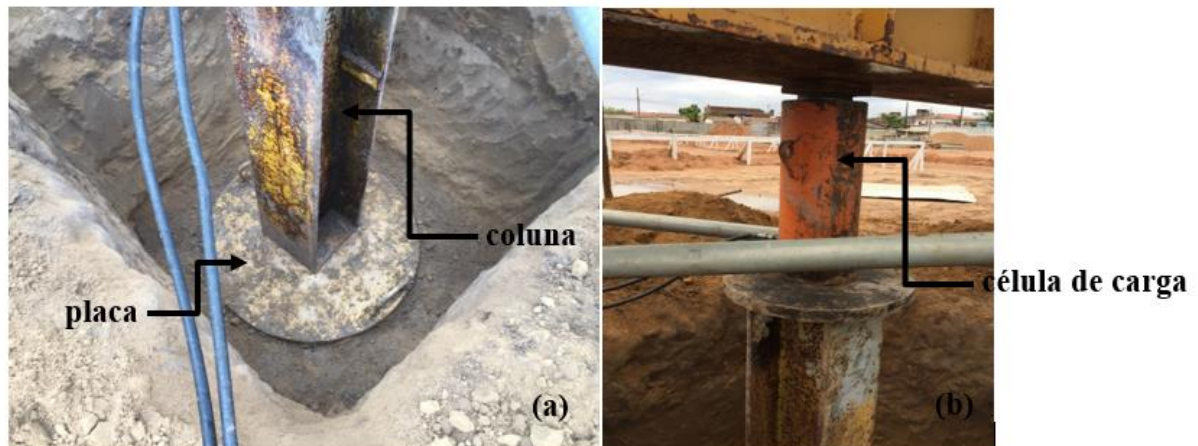
A partir daí foram feitas as escavações necessárias, conforme os modelos de estudo (Figura 15).



**Figura 15 – (a)medições das dimensões (b)processo de escavação**

**Fonte: Autor**

Para a distribuição da carga aplicada, foi necessário posicionar as placas (com 80 centímetros de diâmetro e 1 polegada de altura) e a coluna de aço, conforme recomendações normativas (Figura 16).



**Figura 16 – Posicionamento: (a) placa inferior e coluna (b) placa superior e célula de carga**

**Fonte: Autor**

Logo em seguida, com a estrutura de apoio montada, foi o momento da implantação do dispositivo de aplicação de carga: o macaco hidráulico simples, com capacidade de carga nominal 60 tf e capacidade de carga máxima de 72 tf, e do sistema de medição, composto por quatro extensômetros ortogonalmente fixados nas vigas através de garras magnéticas (Figura 17).



**Figura 17 – (a) relógios extensômetros (b) bomba (auxilia na aplicação da carga)**

**Fonte: Autor**

O esquema da estrutura de ensaio obtido nos procedimentos acima chegou ao resultado da Figura 18 abaixo:



**Figura 18 – Estrutura de ensaio montada**

**Fonte: Autor**

O ensaio de prova de carga rápida iniciou com a aplicação da carga de maneira gradativa, através 9 (nove) estágios iguais e sucessivos, de tensão acrescida de  $5,0 \text{ tf/m}^2$  com duração de 5 minutos cada, sendo realizadas as medições de deslocamentos referentes aos tempos de 0 e 5 minutos. Esta fase de carregamento rápido foi iniciada com carga nula e finalizada com a tensão de  $45 \text{ tf/m}^2$ .

Em seguida foi iniciada a fase de descarregamento, sendo realizada em 5 (cinco) estágios sucessivos de 5 minutos de duração, sendo decrescida as cargas necessárias para o monitoramento dos estágios de 36, 27, 18, 9 e  $0 \text{ tf/m}^2$ , sendo realizadas medições de deslocamentos referentes aos tempos de 0 e 5 minutos.

O segundo ensaio de prova de carga foi para o solo reforçado com a geogrelha soldada, simulando, conforme exposto nos modelos de estudo (Figura 11), no tópico anterior. Como no primeiro ensaio toda estrutura de apoio foi montada segundo os mesmos procedimentos bem como a realização dos procedimentos de aplicação de carga sobre o solo reforçado. O que diferiu do primeiro ensaio foi o processo de envelopamento do solo com a geogrelha e a profundidade de escavação.

Esse processo consistia em criar duas camadas de 25 centímetros de solo compactado envelopado com a geogrelha soldada, justapostas. Para isso, a geogrelha foi fixada no fundo e nas laterais da vala de escavação e recoberta com o solo até que atingisse 25 centímetros de solo compactado e com a sobra da geogrelha não recoberta nas laterais é feito o envelopamento e a fixação sobre a camada de solo.



**Figura 19 – Envelopamento do solo e montagem da estrutura de ensaio**

**Fonte: Autor**

Esse processo foi repetido para criação de uma segunda camada, totalizando uma camada final de 50 centímetros de solo reforçado, para então o início da aplicação da carga. (Figura 20)



**Figura 20 – Ensaio de prova de carga para o solo reforçado**

**Fonte: Autor**

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **6.1 RESULTADOS**

Para o primeiro ensaio, com o solo natural, objetivou-se em analisar a capacidade de carga do solo natural, aplicando uma força sucessivamente em 9 estágios. A partir do processamento dos dados obtidos, obtém-se dados relativos à carga aplicada e a um recalque associado, gerando uma tabela como a indicada abaixo (Tabela 3). Os dados completos de ensaio obtidos em campo estão reunidos na tabela geral, no Apêndice B.

1º Ensaio - E1			Van Der Veen	
Carga	Recalque		Carga	Recalque
(tf)	(mm)		(tf)	(mm)
0	0,000	0,000	0,00	0,00
5	0,122	0,122	17,53937591	0,12
10	0,217	0,217	18,18857346	0,22
15	0,427	0,427	19,5697084	0,43
20	0,752	0,752	21,56827307	0,75
25	1,000	1,000	22,98425	1,00
30	1,568	1,568	25,91638319	1,57
35	2,543	2,543	30,07168732	2,54
40	5,863	5,863	38,53185403	5,86
45	25,643	25,643	44,96003349	25,64
36	25,320	26,00	44,96386142	25,32
27	25,010	27,00	44,97290756	14,00
18	24,580	28,00	44,97994003	14,00
9	24,310	29,00	44,98540708	16,00
0	21,523	30,00	44,98965716	20,00
		31,00	44,99296117	25,00
		40,00	45,00330336	
		50,00	45,00440353	
		50,00	45,00440353	
		50,00	45,00440353	
		50,00	45,00440353	

**Tabela 3 - Resultados do ensaio 1 (solo natural)**

**Fonte: Autor**

Da Tabela 3 acima, e verificou-se que o solo suportou uma tensão de 45 tf/m. A partir da relação entre os dados de carga e recalque é possível montar a curva Tensão x Recalque, citada no referencial teórico dessa pesquisa. A Figura 21 é mostrado a curva tensão x recalque referente aos estágios executados.

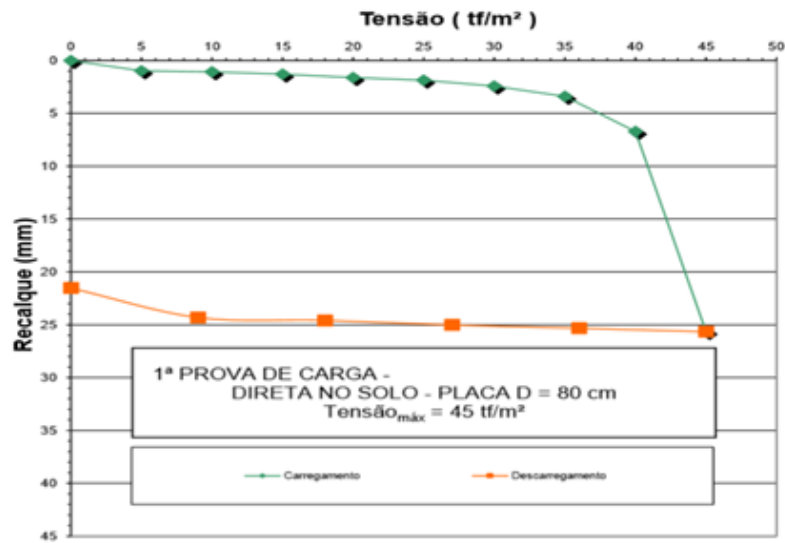


Figura 21 – Gráfico Tensão(tf/m<sup>2</sup>) x Recalque(mm) para o solo natural

Fonte: Autor

Desse ensaio obteve-se 25,64 milímetros de recalque total, 21,52 milímetros de recalque permanente e 4,12 milímetros de recalque elástico, conforme mostrado no gráfico de VAN DER VEEN <sup>1</sup>(Figura 22).

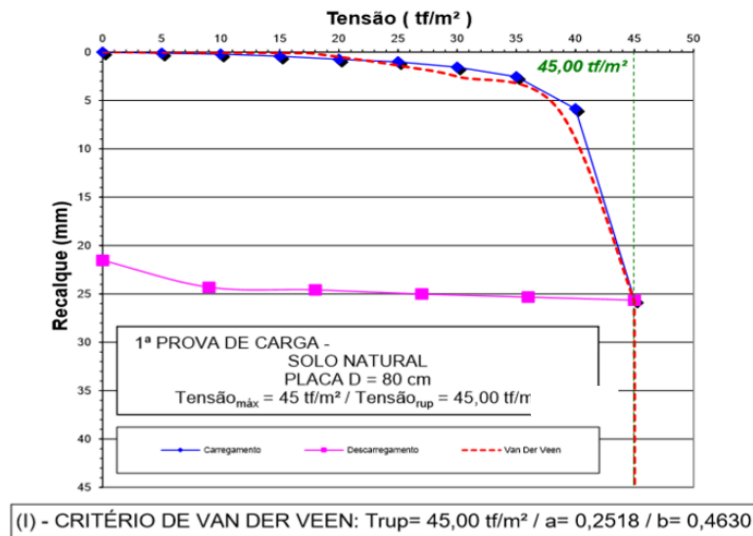


Figura 22 – Gráfico de VAN DER VEEN para o solo natural

Fonte: Autor

O segundo ensaio foi efetivado sobre a camada de solo reforçada com a geogrelha, aplicando uma carga crescente em um processo gradativo, feito em 17 estágios. Os resultados

<sup>1</sup> O método de Van der Veen (1953) supões que a curva de Tensão x Recalque obtida a partir dos ensaios de prova de carga direta sobre placa seja representada por uma expressão exponencial:

$$Q=Q_{ult}(1-e^{-\alpha r})$$

Em que:  $Q_{ult}$  é a carga vertical aplicada em determinado estágio de carregamento;  $\alpha$  é um coeficiente que determina a forma da curva;  $r$  é o correspondente de recalque.



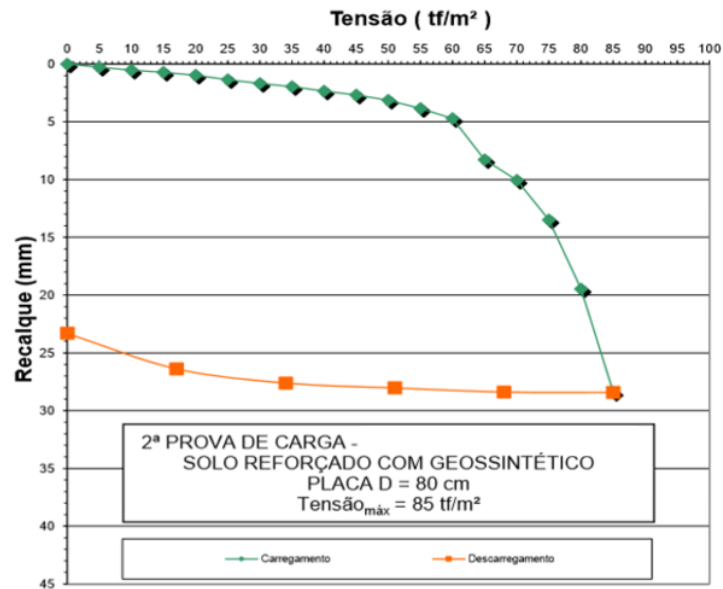
resumidos da aplicação das cargas nos 17 estágios estão reunidos na Tabela 4 abaixo: (Os dados completos obtidos do ensaio de campo, para o solo reforçado, estão reunidos no Apêndice C)

1º Ensaio - E1			Van Der Veen	
Carga	Recalque		Carga	Recalque
(tf)	(mm)		(tf)	(mm)
0	0,000	0,000	0,00	0,00
5	0,275	0,275	17,91238671	0,28
10	0,538	0,538	20,34221569	0,54
15	0,720	0,720	21,98032409	0,72
20	0,967	0,967	24,1368785	0,97
25	1,353	1,353	27,34828177	1,35
30	1,680	1,680	29,94873661	1,68
35	1,953	1,953	32,024545	1,95
40	2,350	2,350	34,91575943	2,35
45	2,688	2,688	37,24891953	2,69
50	3,140	3,140	40,21111042	3,14
55	3,845	3,845	44,47247108	14,00
60	4,720	4,720	49,2153784	14,00
65	8,278	8,278	63,54596377	16,00
70	10,068	10,068	68,4917633	20,00
75	13,493	13,493	75,13658156	25,00
80	19,475	19,475	81,31164871	19,48
85	28,413	28,413	84,71725256	28,41
68	28,385	30,00	84,99232396	28,39
51	28,020	40,00	85,83207461	26,20
34	27,603	50,00	86,04291576	29,00
17	26,383	60,00	86,09585289	31,80
0	23,305	70,00	86,10914413	34,60
		80,00	86,11248124	37,40
		90,00	86,11331911	0,00
		100,00	86,11352947	0,00
		120,00	86,11359555	0,00
		150,00	86,11359993	40,20

**Tabela 4 - Resultados do ensaio II (solo reforçado)**

**Fonte: Autor**

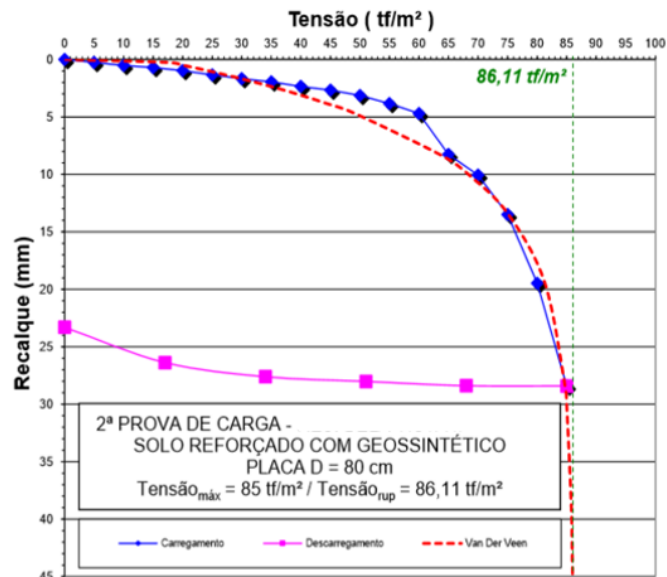
Da Tabela 4 acima, e verificou-se que o solo suportou uma tensão de aproximadamente 86,11 tf/m<sup>2</sup>. A partir da relação entre os dados de carga e recalque é possível montar a curva Tensão x Recalque, citada no referencial teórico dessa pesquisa. A Figura 23 é mostrada a curva tensão x recalque referente aos estágios executados.



**Figura 23 – Gráfico Tensão(tf/m<sup>2</sup>) x Recalque(mm) para o solo reforçado**

**Fonte: Autor**

Após a ruptura do solo, iniciou-se o processo de descarregamento de forma decrescida, obtendo 28,41 milímetros de recalque total, 23,30 milímetros de recalque permanente e 5,10 milímetros de recalque elástico, conforme mostrado no gráfico de VAN DER VEEN (Figura 24).



(I) - CRITÉRIO DE VAN DER VEEN:  $Trup = 86,11 \text{ tf/m}^2$  /  $a = 0,1382$  /  $b = 0,1952$

**Figura 24 – Gráfico de VAN DER VEEN para o solo reforçado**

**Fonte: Autor**

## 6.2 DISCUSSÕES

Da caracterização dos materiais, obteve-se resultados distintos dos ensaios de laboratório e em campo. Os resultados apresentados demonstram classificações diferentes para os materiais na mesma camada de solo. Esse resultado pode ter sido influenciado por diversos fatores, dentre eles:

- a) O solo pode apresentar diversas variações de camadas ao longo de toda a extensão do terreno, considerando este um material de origem natural apesar de que nos diversos pontos de sondagem o material permanecia quase que constante nas classes de camadas.
- b) Outro fator de influência, diz respeito a uma camada de aterro compactado com 90 centímetros de altura, inserida em alguns pontos do terreno, após o ensaio de sondagem, o que pode ter influenciado nos resultados.

No que diz respeito aos resultados de resistência obtidos para o solo em seu estado natural e reforçado, os ensaios demonstraram um ganho de resistência significativo com o uso da geogrelha como reforço.

Neste caso, comparando os gráficos de Van Der Veen referente a prova de carga no solo natural (Figura 22) com o gráfico de Van Der Veen referente a prova de carga no solo reforçado (Figura 24), tem-se que no primeiro caso a resistência obtida foi de 45,00 tf/m<sup>2</sup> enquanto que no segundo caso a resistência obtida foi de 86,11 tf/m<sup>2</sup>.

Esses resultados demonstram que para o mesmo solo e no mesmo ponto de aplicação dos ensaios, o ganho de resistência proporcionado pela geogrelha foi de 41,11tf/m<sup>2</sup>, o que equivale a 91,36% da resistência obtida com o solo natural.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os geossintéticos são materiais polímeros fabricados industrialmente que apresentam diversas formas de uso e função e que vêm ganhando espaço na geotecnia para obras de sistemas de drenagem, de controle de erosão superficial, barreiras impermeabilizantes, reforço, entre outros. Assim sendo, o presente trabalho avaliou o uso de uma geogrelha soldada no reforço de solos para fundações diretas, por meio do ensaio de prova de carga direta, de acordo com as recomendações da NBR 6489 (2019) e possibilitou a comparação com o solo em seu estado natural.

A partir dos ensaios realizados, foi possível fazer uma análise preliminar do uso da geogrelha como reforço do solo para aplicação de fundações diretas superficiais rasas. Através dos ensaios teve-se um indício do reforço do solo com o uso da geogrelha, em comparação com o solo em seu estado natural. Deste modo, demonstra-se a possibilidade de utilização deste tipo de solução em obras de fundações superficiais, para solos que não apresentam a resistência necessária desde que o ganho de resistência seja suficiente para a aplicação desejada.

Portanto, considerando que esse tipo de fundação é o tipo mais usados atualmente em construções de pequeno e médio porte, é notório que, o uso de geogrelha soldada como reforço, pode garantir o aumento da capacidade de carga do solo .

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

\_\_\_\_\_. **NBR 6122** – Projeto e execução de fundações: Procedimento. Rio de Janeiro, 2019.

\_\_\_\_\_. **NBR 6484** – Execução de sondagem de simples reconhecimento dos solos: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 6489** – Solo - Prova de carga estática em fundação direta. Rio de Janeiro, 2019.

ALONSO, Urbano Rodrigues. **Previsão e Controle das Fundações**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1998. 142 p. Disponível em: <[https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=RQC5DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA9&dq=funda%C3%A7%C3%B5es+engenharia+artigo+pdf&ots=SUf6AoHI3g&sig=GY\\_cYuCOMM0eMCHpGfIc4ydkel0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=RQC5DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA9&dq=funda%C3%A7%C3%B5es+engenharia+artigo+pdf&ots=SUf6AoHI3g&sig=GY_cYuCOMM0eMCHpGfIc4ydkel0#v=onepage&q&f=false)> Acesso em 02 de fevereiro de 2020.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **SAPATAS DE FUNDAÇÃO**. São Paulo, Bauru, 2019. <[http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-civil/wp-content/uploads/sites/3/2019/08/DISSERTA%C3%87%C3%83O\\_ANA\\_CAROLINA\\_DAS\\_CHAGAS\\_LOPES.pdf](http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-civil/wp-content/uploads/sites/3/2019/08/DISSERTA%C3%87%C3%83O_ANA_CAROLINA_DAS_CHAGAS_LOPES.pdf)> Acesso em 20 de janeiro de 2020.

BATISTA, Neli Alves; **Fundações Rasas Reforçadas com Geossintéticos**. 2004. 71f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos. Disponível em <<[http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-civil/wp-content/uploads/sites/3/2019/08/DISSERTA%C3%87%C3%83O\\_ANA\\_CAROLINA\\_DAS\\_CHAGAS\\_LOPES.pdf](http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-civil/wp-content/uploads/sites/3/2019/08/DISSERTA%C3%87%C3%83O_ANA_CAROLINA_DAS_CHAGAS_LOPES.pdf)>> Acesso em 15 de fevereiro de 2020.

BUENO, B. S.; LIMA, D. C.; RÖHM, S. A. **Fundações Profundas**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/ MG: Imprensa Universitária da Universidade Federal de Viçosa, 1985.

CAPUTO, Homero Pinto. CAPUTO, Armando Negreiros. RODRIGUES, J. Martinho de A. **Mecânica dos Solos e suas aplicações: Fundamentos**. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2017. v.1. 454 p.

CONSTANCIO, Lucas Amarante. **Capacidade de carga de um modelo de fundação superficial em solo arenoso fofo com reforço de geotêxtil**. São Paulo, Campinas, 2010. Disponível em: <[http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258742/1/Constancio\\_LucasAmarante\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258742/1/Constancio_LucasAmarante_M.pdf)> Acesso em 15 de março de 2020.

HACHICH, Waldemar Coelho; FALCONI, F. F.; SAES, J; *et al.* Fundações: teoria e prática. [S.l: s.n.], 1996.

LOPES, Ana Carolina das Chagas. **Estudo de Interação Solo-Geogrelha-Estrutura de Fundações Rasas Utilizando Modelagem Física com Solos Transparentes**. Rio de Janeiro, Campo dos Goytacazes, 2019. Disponível em:  
<<http://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto3/Sapatas.pdf>> Acesso em 15 de março de 2020.

NETO, José Orlando Avesani. FUTAI, Marcos Massao. Aspectos gerais do uso de geossintéticos em reforço de aterros sobre solos moles. XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. **Anais Digitais**. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2016. Disponível em: < <https://www.researchgate.net/publication/309223614> > Acesso em 03 de março de 2020.

VERTEMATTI, J.C. Aplicações em Reforço de Solos. In: VERTEMATTI, José Carlos (Org.). **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2015. 85-86 p.

PRUDENCIO, Tiago. **Análise de Viabilidade Econômica de Diferentes Tipos de Fundação em casas populares**. Rio Grande do Sul, Criciúma, 2011.  
<<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/898/1/Tiago%20Prud%C3%A4ncio.pdf>> Acesso em 10 de fevereiro de 2020.

RESENDE, Priscila Barbosa. GOULART, Letícia Beraldo. ARAÚJO JUNIOR, José Luiz de. **Fundações Superficiais**. Minas Gerais, Goiás, 2018. <<http://unifimes.edu.br/2016/03/01/i-coloquio-estadual-de-pesquisa-multidisciplinar/>> Acesso em 10 de fevereiro de 2020.

## **APÊNDICES**

APÊNDICE A – RELATÓRIO DE NSPT REALIZADO EM CAMPO

APÊNDICE B - RESULTADOS PARA O SOLO EM ESTADO NATURAL (TABELAS COMPLETAS)

APÊNDICE C – RESULTADOS PARA O SOLO REFORÇADO (TABELAS COMPLETAS)

APÊNDICE A – RELATÓRIO DE NSPT REALIZADO EM CAMPO

SONDAGEM À PERCUSSÃO											
CLIENTE / OBRA						SONDADOR		DESENHO			
Sanco Engenharia / Condomínio Bela Vista - ESPEP						Cleonilson		ENGEObase			
LOCALIZAÇÃO DO FURO						Pedro		Engenharia de Fundações LTDA.			
Mangabeira - João Pessoa / PB						DATA		REFERÊNCIA			
AMOSTRADOR (diâm.)		REVEST. (diâm. nom.)	MARTELO		COTA DO FURO:	REF. DE NÍVEL (RN): 0,00 m (Meio-flo de Rua João Apostolo de Souza)		INÍCIO	TÉRMINO		
Externo 59,8 mm		47 mm	Peso 45 kg	Alt. de queda 75 cm	(+/-)0,51 m			03/11/2014	04/11/2014		
Interno 34,9 mm									179/2014		
Posição do Revest.	Profund. (m)	Número de Golpes Penetração (15 cm)	NSPT	GRÁFICO DE PENETRAÇÃO - PROFUNDIDADE ESCALA: 1/100					Nível d'água (NA)	Profund. das camadas (m)	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL AMOSTRADO
	0,45	8/15	13						Não encontrado	0,00	Areia silto-argilosa medianamente compacta a pouco compacta - cor variada
1	1,18	4/15	8						1,18	Siltos areno-argilosos pouco compactos cor variada	
2	2,33	3/15	6						2,33	Siltos areno-argilosos pouco compactos a medianamente compactos - cor bege	
3	4,05	2/15	4						4,05	Siltos argilo-arenosos rijo a duro - cor variada	
4	6,30	2/15	4						6,30	Siltos areno-argilosos compactos a medianamente compactos - cor cinza	
5	8,55	2/15	4						8,55	Siltos areno-argilosos c/ pedregulho med. compacto a compacto - cor variada	
6	10,80	4/15	13						10,80	Siltos argilo-arenosos duros cor variada	
7	13,05	2/15	14						13,05	Siltos areno-argilosos compactos a muito compactos - cor variada	
8	15,30	2/15	20						15,30	Areia silto-argilosa muito compacta cor variada	
9	17,55	7/15	15						17,55	Argila silto-arenosa dura cor variada	
10	19,80	2/15	21						19,80	Impenetrável à Percussão	
11	22,05	22/15	50						22,05		
12	24,30	11/15	31						24,30		
13	26,55	2/15	14						26,55		
14	28,80	2/15	14						28,80		
15	31,05	4/15	16						31,05		
16	33,30	2/15	18						33,30		
17	35,55	17/15	49						35,55		
18	37,80	23/15	65/30						37,80		
19	40,05	28/15	68/30						40,05		
20	42,30	27/15	57/20	42,30							



## SONDAGEM À PERCUSSÃO

CLIENTE / OBRA					SONDADOR	
Sanco Engenharia / Condomínio Bela Vista - ESPEP					Cleonilson	
SP		LOCALIZAÇÃO DO FURO			DESENHO	
02		Mangabeira - João Pessoa / PB			Pedro	
AMOSTRADOR (dâim)		REVEST.	MARTELO		COTA DO FURO:	
Externo 58,8 mm		(dâim. nom.)	Peso	Alt. de queda	REF. DE NÍVEL (RN): 0,00 m	
Interno 34,9 mm		67 mm	65 kg	75 cm	(Melo-flo de Rua João Apostolo de Souza)	
					DATA	REFERÊNCIA
					INÍCIO	TÉRMINO
					04/11/2014	05/11/2014
					179/2014	



Posição do Revest.	Profund. (m)	Número de Golpes/ Penetração (15 cm)	N <sub>60</sub> PT	GRÁFICO DE PENETRAÇÃO - PROFUNDIDADE ESCALA: 1/100													Nível d'água (NA)	Profund. das camadas (m)	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL AMOSTRADO
				5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55					
	0,45	7/15	12														0,00	Arma silteu medianamente compacta cor variada	
1	1	1/16	1														0,63	Síte areno-argiloso med. compacto - cor marrom	
2	2	1/22	1														0,78	Síte areno-argiloso medianamente compacto a fofa - cor variada	
3	3	1/15	3														2,40	Síte areno-argiloso pouco fofa a pouco compacto - cor laranja	
4	4	2/15	5														4,00	Síte areno-argiloso pouco compacto a medianamente compacto - cor variada	
5	5	2/15	6														7,41	Síte areno-argiloso c/ pedregalho c/ laterita medianamente compacto - cor variada	
6	6	2/15	9														8,00	Síte areno-argiloso c/ pedregalho med. compacto a compacto - cor variada	
7	7	2/15	12														10,37	Argila silteu-arenosa dura cor variada	
8	8	2/15	19														13,17	Síte areno-argiloso medianamente compacto a muito compacto - cor variada	
9	9	2/15	16														17,23	Arma silteu-argilosa muito compacto cor variada	
10	10	10/15	27														19,10	Argila silteu-arenosa dura cor variada	
11	11	12/15	30														20,32	Impenetrável à Percussão	
12	12	12/15	27																
13	13	10/15	18																
14	14	8/15	18																
15	15	8/15	18																
16	16	7/15	18																
17	17	10/15	28																
18	18	20/15	51																
19	19	20/15	51																
20	20	20/15	59																
		20/15	42/17																

OBSERVAÇÕES:  
- Sumidouro à 3,62m.

## SONDAGEM À PERCUSSÃO

CLIENTE / OBRA					SONDADOR		 Engenharia de Fundações Ltda.
Sanco Engenharia / Condomínio Bela Vista - ESPEP					Cleonilson		
SP	LOCALIZAÇÃO DO FURO				DESENHO		
03	Mangabeira - João Pessoa / PB				Pedro		DATA
AMOSTRADOR (diâm.)		REVEST.	MARTELO		COTA DO FURO:		INÍCIO
Externo 58,8 mm		(diâm. nom.)	Peso	Alt. de queda	(Melo-flo de Rua João Apostolo de Souza)		TÉRMINO
Interno 34,9 mm		67 mm	65 kg	75 cm	(+/-) 1,86 m		17/3/2014
							REFERÊNCIA
							05/11/2014 09/11/2014 173/2014

Posição do Revest.	Profund. (m)	Número de Golpes/ Penetração (15 cm)	NºPT	GRÁFICO DE PENETRAÇÃO - PROFUNDIDADE ESCALA: 1/100													Nível d'água (NA)	Profund. das camadas (m)	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL AMOSTRADO
				5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55					
	0,45	10	10														Não encontrado	0,00	Areia silteosa medianamente compacta cor variada
1	1	5	0,32														Siltos areno-argilosos med. compacto - cor marrom		
2	2	5	0,93														Siltos areno-argilosos med. compacto cor variada		
3	3	6	4,08														Siltos areno-argilosos medianamente compacto cor laranja		
4	4	10	3,79														Siltos areno-argilosos medianamente compacto cor variada		
5	5	11	0,17														Siltos areno-argilosos c/ pedregulho c/ laterita med. compacto a compacto - cor variada		
6	6	16	10,13														Argila silte-arenosa dura cor variada		
7	7	12	11,81														Siltos areno-argilosos compacto cor variada		
8	8	21	14,65														Areia silte-argilosa compacta a muito compacto - cor variada		
9	9	16	17,43														Argila silte-arenosa dura cor variada		
10	10	22	19,37														Impenetrável à Percussão		
11	11	27																	
12	12	18																	
13	13	17																	
14	14	18																	
15	15	18																	
16	16	51																	
17	17	66/30																	
18	18	73/30																	
19	19	53/22																	
20	20																		

## SONDAGEM À PERCUSSÃO

CLIENTE / OBRA					SONDADOR		 Engenharia de Fundações Ltda.
Sanco Engenharia / Condomínio Bela Vista - ESPEP					Cleonilson		
SP	LOCALIZAÇÃO DO FURO				DESENHO		
04	Mangabeira - João Pessoa / PB				Pedro		DATA
AMOSTRADOR (diâm.)		REVEST.	MARTELO		GOTA DO FURO:	REFERÊNCIA	
Externo 58,8 mm		(diâm. nom.)	Peso	Alt. de queda	(*) 1,30m	REF. DE NÍVEL (RN): 0,00 m (Meio-fio)	INÍCIO
Interno 34,9 mm		67 mm	65 kg	75 cm			TÉRMINO
							17/9/2014
							07/07/2016 08/07/2016

Posição do Revest.	Profund. (m)	Número de Golpes/ Penetração (15 cm)	NºPT	GRÁFICO DE PENETRAÇÃO - PROFUNDIDADE ESCALA: 1/100												Nível d'água (NA)	Profund. das camadas (m)	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL AMOSTRADO
				5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55				
	0,45	2/15	3													Não encontrado	0,00	Síle areno-argiloso fofo - cor cinza escura
1	1,10	2/15	4													0,37	Síle areno-argiloso fofo - cor variada	
2	1,75	1/27	1													0,85	Síle argilo-arenoso fofo cor amarela	
3	2,40	1/17	2															
4	3,05	2/15	4													3,71	Síle argilo-arenoso fofo a medianamente compacto - cor laranja	
5	3,70	2/15	5															
6	4,35	2/15	10													7,16	Síle areno-argiloso medianamente compacto cor variada	
7	5,00	2/15	12															
8	5,65	2/15	14													9,33	Síle areno-argiloso fofo / laterita med. compacto - cor variada	
9	6,30	2/15	14															
10	6,95	2/15	15													11,27	Síle areno-argiloso fofo / laterita med. compacto - cor variada	
11	7,60	2/15	19															
12	8,25	2/15	28													13,33	Síle areno-argiloso fofo / laterita med. compacto a muito compacto - cor variada	
13	8,90	2/15	46															
14	9,55	2/15	46													15,01	Síle argilo-arenoso fofo / laterita muito compacto - cor variada	
15	10,20	2/15	52															
16	10,85	2/15	59													17,01	Argila silto-arenosa dura cor variada	
17	11,50	2/15	74/30															
18	12,15	2/15	61/25													18,40	Impenetrável à Percussão	
19	12,80	2/15																
20	13,45	2/15																

OBSERVAÇÕES:  
- Sumidoro à 3,60m.

## SONDAGEM À PERCUSSÃO

CLIENTE / OBRA					SONDADOR		 Engenharia de Fundações Ltda.
Sanco Engenharia / Condomínio Bela Vista - ESPEP					Cleonilson		
SP	LOCALIZAÇÃO DO FURO				DESENHO		
05	Mangabeira - João Pessoa / PB				Pedro		DATA
AMOSTRADOR (diâm.)		REVEST.	MARTELO		COTA DO FURO:		REF. DE NÍVEL (RN): 0,00 m (Meio-fio)
Externo 58,8 mm		(diâm. nom.)	Peso	Alt. de queda	(+/-) 1,14m		
Interno 34,9 mm		67 mm	65 kg	75 cm			INÍCIO
							TÉRMINO
							17/9/2014
							08/07/2016
							08/07/2016

Posição do Revest.	Profund. (m)	Número de Golpes/ Penetração (15 cm)	NºPT	GRÁFICO DE PENETRAÇÃO - PROFUNDIDADE ESCALA: 1/100												Nível d'água (NA)	Profund. das camadas (m)	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL AMOSTRADO
				0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55			
	0,45	2/15	4													0,00	Siltos areno-argilosos fofos - cor cinza escura	
1	1,10	2/15	2													0,25	Siltos areno-argilosos fofos cor variada	
2	1,75	1/15	2													1,00	Siltos areno-argilosos fofos cor amarela	
3	2,40	1/15	2													2,70	Siltos areno-argilosos fofos a pouco compacto - cor variada	
4	3,05	2/15	7													4,05	Siltos areno-argilosos pouco compacto cor laranja	
5	3,70	2/15	5													6,37	Siltos areno-argilosos pouco compacto a compacto - cor variada	
6	4,35	2/15	7													9,55	Siltos areno-argilosos o/ laterita compacto - cor variada	
7	5,00	2/15	7													12,31	Siltos argilo-arenosos o/ laterita duro cor variada	
8	5,65	2/15	14													16,41	Siltos areno-argilosos o/ pedregulho med. compacto a muito compacto - cor variada	
9	6,30	2/15	16													19,28	Impenetrável à Percussão	
10	6,95	2/15	16															
11	7,60	13/15	28															
12	8,25	12/15	39															
13	8,90	11/15	39															
14	9,55	11/15	23															
15	10,20	10/15	25															
16	10,85	11/15	25															
17	11,50	12/15	35															
18	12,15	12/15	40															
19	12,80	12/15	40															
20	13,45	12/15	54															
			53/23															

**OBSERVAÇÕES:**  
- Sumidouro à 2,73m.

## SONDAGEM À PERCUSSÃO

CLIENTE / OBRA					SONDADOR		 Engenharia de Fundações Ltda.
Sanco Engenharia / Condomínio Bela Vista - ESPEP					Cleonilson		
SP	LOCALIZAÇÃO DO FURO				DESENHO		
06	Mangabeira - João Pessoa / PB				Pedro		DATA
AMOSTRADOR (diâm.)		REVEST.	MARTELO		COTA DO FURO:		REF. DE NÍVEL (RN): 0,00 m (Meio-fc)
Externo	58,8 mm	(diâm. nom.)	Peso	Alt. de queda			
Interno	34,9 mm	67 mm	65 kg	75 cm	(+/-) 0,75m		INÍCIO
							11/07/2016
							TÉRMINO
							12/07/2016
							REFERÊNCIA
							179/2014

Posição do Revest.	Profund. (m)	Número de Golpes/ Penetração (15 cm)	NºPT	GRÁFICO DE PENETRAÇÃO - PROFUNDIDADE ESCALA: 1/100												Nível d'água (NA)	Profund. das camadas (m)	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL AMOSTRADO	
				5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55					
	0,45	1/15	1/17	2													Não encontrado	0,00	Sítle areno-argiloso fofo cor variagada
	1	1/23	1/27	1													1,31	Sítle areno-argiloso fofo cor amarela	
	2	1/18	1/20	2													2,03	Sítle areno-argiloso fofo cor variagada	
	3	1/15	2/15	4													4,15	Sítle areno-argiloso fofo a medianamente compacto - cor laranja	
	4	2/15	2/15	4													7,22	Sítle areno-argiloso medianamente compacto - cor variagada	
	5	2/15	2/15	6													10,08	Sítle areno-argiloso c/ pedregulho c/ laterita medianamente compacto - cor variagada	
	6	2/15	4/15	8													12,10	Sítle areno-argiloso medianamente compacto a compacto - cor variagada	
	7	2/15	8/15	14													15,31	Sítle areno-argiloso c/ pedregulho compacto a muito compacto - cor variagada	
	8	2/15	8/15	14													18,71	Sítle argilo-arenoso c/ pedregulho c/ laterita dan - cor variagada	
	9	2/15	8/15	10													20,45	OBSERVAÇÕES: - Samiteiro à 2,55m.	
	10	2/15	8/15	10														Limite de Sondagem	
	11	2/15	8/15	16															
	12	2/15	8/15	18															
	13	2/15	10/15	20															
	14	10/15	11/15	24															
	15	8/15	11/15	23															
	16	2/15	10/15	23															
	17	10/15	12/15	30															
	18	18/15	21/15	44															
	19	14/15	10/15	46															
	20	18/15	22/15	63/90															

## SONDAGEM À PERCUSSÃO

Sanco Engenharia / Condomínio Bela Vista - ESPEP					SONDADOR <b>Cleonilson</b>	 Engenharia de Fundações Ltda.
SP	LOCALIZAÇÃO DO FURO				DESENHO	
<b>07</b>	<b>Mangabeira - João Pessoa / PB</b>				Pedro	
AMOSTRADOR (diâm.)		REVEST.	MARTELO		GOTA DO FURO:	DATA
Externo 58,8 mm		(diâm. nom.)	Peso	Alt. de queda		INÍCIO
Interno 34,9 mm		67 mm	65 kg	75 cm	(+) 1,09m	TÉRMINO
					REF. DE NÍVEL (RN): 0,00 m (Meio-fio)	REFERÊNCIA
						<b>179/2014</b>
						<b>13/07/2016</b> <b>13/07/2016</b>

Posição do Revest.	Profund. (m)	Número de Golpes/ Penetração (15 cm)	NºPT	GRÁFICO DE PENETRAÇÃO - PROFUNDIDADE ESCALA: 1/100											Nível d'água (NA)	Profund. das camadas (m)	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL AMOSTRADO
				5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55			
	0,45	2/15	1/17												Não encontrado	0,00	Síle areno-argiloso fofo - cor cinza escura
1	1,32	1/21	0,43												Síle areno-argiloso fofo cor variada		
2	1/19	1/23	1,31												Síle areno-argiloso fofo cor amarela		
3	1/15	1/15	3,71												Síle areno-argiloso fofo a pouco compacto - cor laranja		
4	2/15	2/15	5,03												Síle argilo-arenoso médio a rijo - cor cinza		
5	1/15	2/15	8,35												Síle areno-argiloso c/ pedregulho med. compacto a compacto - cor variada		
6	2/15	2/15	12,27												Síle argilo-arenoso duro a rijo cor variada		
7	2/15	4/15	14,33												Síle areno-argiloso c/ pedregulho c/ laterita med. compacto a compacto - cor variada		
8	4/15	4/15	18,04												Síle areno-argiloso c/ pedregulho compacto a muito compacto - cor variada		
9	2/15	8/15	20,43												Limite de Sondagem		
10	2/15	8/15															
11	2/15	8/15															
12	2/15	10/15															
13	2/15	10/15															
14	2/15	10/15															
15	2/15	10/15															
16	2/15	10/15															
17	2/15	10/15															
18	13/15	17/15	48														
19	14/15	18/15	46														
20	18/15	21/15	54														
	21/15	27/15	57/25														

APÊNDICE B - RESULTADOS PARA O SOLO EM ESTADO NATURAL (TABELAS COMPLETAS)

<b>1ª PROVA DE CARGA DIRETA</b>																
DATA DE REALIZAÇÃO: 20 DE FEVEREIRO DE 2020 LOCAL: MANGABEIRA - JOÃO PESSOA / PB																
<b>Tipo de Carregamento:</b> Rápido				<i>Início: 16:30 hs</i>												
Carregamento		Tempo		Ext.1			Ext.2			Ext.3			Ext.4			Recalque Médio
Tensão (tf/m <sup>2</sup> )	(%) do total			Leitura (mm)	Dif. (mm)	Total (mm)	Leitura (mm)	Dif. (mm)	Total (mm)	Leitura (mm)	Dif. (mm)	Total (mm)	Leitura (mm)	Dif. (mm)	Total (mm)	
		Hora	Tf - Ti													
0,00	0,00	16:30	0	43,33	0,00	0,00	44,33	0,00	0,00	43,98	0,00	0,00	42,23	0,00	0,00	0,000
5,00	11,1	16:31	0	43,25	0,08	0,08	44,15	0,18	0,18	43,88	0,10	0,10	42,10	0,13	0,13	0,122
		16:36	5	43,25	0,00	0,08	44,15	0,00	0,18	43,88	0,00	0,10	42,10	0,00	0,13	0,122
10,00	22,2	16:37	0	43,15	0,10	0,18	44,05	0,10	0,28	43,81	0,07	0,17	42,00	0,10	0,23	0,215
		16:42	5	43,15	0,00	0,18	44,05	0,00	0,28	43,81	0,00	0,17	41,99	0,01	0,24	0,217
15,00	33,3	16:43	0	43,01	0,14	0,32	43,92	0,13	0,41	43,60	0,21	0,38	41,82	0,17	0,41	0,380
		16:48	5	42,98	0,03	0,35	43,86	0,06	0,47	43,58	0,02	0,40	41,74	0,08	0,49	0,427
20,00	44,4	16:49	0	42,70	0,28	0,63	43,60	0,26	0,73	43,26	0,32	0,72	41,46	0,28	0,77	0,712
		16:54	5	42,65	0,05	0,68	43,55	0,05	0,78	43,23	0,03	0,75	41,43	0,03	0,80	0,752
25,00	55,6	16:55	0	42,45	0,20	0,88	43,36	0,19	0,97	42,97	0,26	1,01	41,27	0,16	0,96	0,955
		17:00	5	42,42	0,03	0,91	43,32	0,04	1,01	42,93	0,04	1,05	41,20	0,07	1,03	1,000
30,00	66,7	17:00	0	41,90	0,52	1,43	42,78	0,54	1,55	42,35	0,58	1,63	40,67	0,53	1,56	1,543
		17:05	5	41,87	0,03	1,46	42,75	0,03	1,58	42,33	0,02	1,65	40,65	0,02	1,58	1,568
35,00	77,8	17:05	0	41,00	0,87	2,33	42,00	0,75	2,33	41,40	0,93	2,58	39,65	1,00	2,58	2,455
		17:10	5	40,92	0,08	2,41	41,84	0,16	2,49	41,33	0,07	2,65	39,61	0,04	2,62	2,543
40,00	88,9	17:10	0	38,15	2,77	5,18	38,12	3,72	6,21	38,41	2,92	5,57	36,83	2,78	5,40	5,590
		17:15	5	37,88	0,27	5,45	37,80	0,32	6,53	38,18	0,23	5,80	36,56	0,27	5,67	5,863
45,00	100,00	17:15	0	18,18	19,70	25,15	18,92	18,88	25,41	18,29	19,89	25,69	16,48	20,08	25,75	25,500
		17:20	5	18,02	0,16	25,31	18,80	0,12	25,53	18,15	0,14	25,83	16,33	0,15	25,90	25,643
36,00	80,00	17:21	0	18,23	-0,21	25,10	19,13	-0,33	25,20	18,50	-0,35	25,48	16,64	-0,31	25,59	25,343
		17:31	5	18,25	-0,02	25,08	19,14	-0,01	25,19	18,54	-0,04	25,44	16,66	-0,02	25,57	25,320
27,00	60,00	17:32	0	18,54	-0,29	24,79	19,48	-0,34	24,85	18,90	-0,36	25,08	16,84	-0,18	25,39	25,028

		17:42	5	18,55	-0,01	24,78	19,48	0,00	24,85	18,92	-0,02	25,06	16,88	-0,04	25,35	25,010
18,00	40,00	17:43	0	18,82	-0,27	24,51	19,89	-0,41	24,44	19,38	-0,46	24,60	17,34	-0,46	24,89	24,610
		17:53	5	18,84	-0,02	24,49	19,92	-0,03	24,41	19,41	-0,03	24,57	17,38	-0,04	24,85	24,580
9,00	20,00	17:54	0	19,07	-0,23	24,26	20,21	-0,29	24,12	19,66	-0,25	24,32	17,60	-0,22	24,63	24,333
		18:04	5	19,10	-0,03	24,23	20,22	-0,01	24,11	19,68	-0,02	24,30	17,63	-0,03	24,60	24,310
0,00	0,00	18:05	0	21,77	-2,67	21,56	22,55	-2,33	21,78	22,46	-2,78	21,52	20,70	-3,07	21,53	21,598
		18:10	5	21,80	-0,03	21,53	22,61	-0,06	21,72	22,50	-0,04	21,48	20,74	-0,04	21,49	21,555
		18:15	10	21,84	-0,04	21,49	22,66	-0,05	21,67	22,53	-0,03	21,45	20,75	-0,01	21,48	21,523
						<b>CARGA MÁXIMA:</b> <b>RECALQUE TOTAL:</b> <b>RECALQUE PERMANENTE:</b> <b>RECALQUE ELÁSTICO:</b>		45,00 25,643 21,523 4,120	tf/m <sup>2</sup> mm mm mm							



APÊNDICE C – RESULTADOS PARA O SOLO REFORÇADO (TABELAS COMPLETAS)

<b>2º PROVA DE CARGA DIRETA</b>																
<i>DATA DE REALIZAÇÃO: 28 DE FEVEREIRO DE 2020 LOCAL:</i>																
<i>MANGABEIRA - JOÃO PESSOA / PB</i>																
<b>Tipo de Carregamento:</b> Rápido				<i>Início: 19:00 hs</i>												
Carregamento		Tempo		Ext.1			Ext.2			Ext.3			Ext.4			Recalque Médio
Tensão	(%)			Leitura	Dif.	Total	Leitura	Dif.	Total	Leitura	Dif.	Total	Leitura	Dif.	Total	
(tf/m²)	do total	Hora	Tf - Ti	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
0,00	0,00	19:00	0	47,63	0,00	0,00	44,90	0,00	0,00	45,54	0,00	0,00	45,97	0,00	0,00	0,000
5,00	5,9	19:01	0	47,38	0,25	0,25	44,66	0,24	0,24	45,28	0,26	0,26	45,64	0,33	0,33	0,270
		19:06	5	47,38	0,00	0,25	44,66	0,00	0,24	45,28	0,00	0,26	45,62	0,02	0,35	0,275
10,00	11,8	19:07	0	47,20	0,18	0,43	44,38	0,28	0,52	45,08	0,20	0,46	45,31	0,31	0,66	0,517
		19:12	5	47,18	0,02	0,45	44,36	0,02	0,54	45,06	0,02	0,48	45,29	0,02	0,68	0,538
15,00	17,6	19:13	0	47,05	0,13	0,58	44,21	0,15	0,69	44,92	0,14	0,62	45,07	0,22	0,90	0,698
		19:18	5	47,05	0,00	0,58	44,18	0,03	0,72	44,88	0,04	0,66	45,05	0,02	0,92	0,720
20,00	23,5	19:19	0	47,00	0,05	0,63	43,85	0,33	1,05	44,70	0,18	0,84	44,72	0,33	1,25	0,943
		19:24	5	46,95	0,05	0,68	43,83	0,02	1,07	44,68	0,02	0,86	44,71	0,01	1,26	0,967
25,00	29,4	19:25	0	46,68	0,27	0,95	43,51	0,32	1,39	44,37	0,31	1,17	44,34	0,37	1,63	1,285
		19:30	5	46,64	0,04	0,99	43,35	0,16	1,55	44,32	0,05	1,22	44,32	0,02	1,65	1,353
30,00	35,3	19:30	0	46,35	0,29	1,28	43,04	0,31	1,86	44,00	0,32	1,54	43,99	0,33	1,98	1,665
		19:35	5	46,32	0,03	1,31	43,02	0,02	1,88	44,00	0,00	1,54	43,98	0,01	1,99	1,680
35,00	41,2	19:35	0	46,17	0,15	1,46	42,81	0,21	2,09	43,71	0,29	1,83	43,69	0,29	2,28	1,915
		19:40	5	46,12	0,05	1,51	42,77	0,04	2,13	43,68	0,03	1,86	43,66	0,03	2,31	1,953
40,00	47,1	19:40	0	45,75	0,37	1,88	42,41	0,36	2,49	43,32	0,36	2,22	43,27	0,39	2,70	2,323
		19:45	5	45,70	0,05	1,93	42,40	0,01	2,50	43,29	0,03	2,25	43,25	0,02	2,72	2,350
45,00	52,9	19:45	0	45,50	0,20	2,13	42,14	0,26	2,76	43,04	0,25	2,50	42,97	0,28	3,00	2,598
		19:50	5	45,44	0,06	2,19	41,95	0,19	2,95	42,99	0,05	2,55	42,91	0,06	3,06	2,688
50,00	58,8	19:50	0	45,02	0,42	2,61	41,53	0,42	3,37	42,52	0,47	3,02	42,41	0,50	3,56	3,140
		19:55	5	45,02	0,00	2,61	41,53	0,00	3,37	42,52	0,00	3,02	42,41	0,00	3,56	3,140
55,00	64,7	19:55	0	44,61	0,41	3,02	41,04	0,49	3,86	41,96	0,56	3,58	41,83	0,58	4,14	3,650
		20:00	5	44,38	0,23	3,25	40,86	0,18	4,04	41,80	0,16	3,74	41,62	0,21	4,35	3,845

60,00	70,6	20:00	0	43,66	0,72	3,97	40,09	0,77	4,81	41,01	0,79	4,53	40,78	0,84	5,19	4,625
		20:05	5	43,51	0,15	4,12	39,98	0,11	4,92	40,94	0,07	4,60	40,73	0,05	5,24	4,720
65,00	76,5	20:05	0	40,19	3,32	7,44	36,62	3,36	8,28	37,61	3,33	7,93	37,23	3,50	8,74	8,098
		20:10	5	39,97	0,22	7,66	36,43	0,19	8,47	37,45	0,16	8,09	37,08	0,15	8,89	8,278
70,00	82,4	20:10	0	38,33	1,64	9,30	34,75	1,68	10,15	35,67	1,78	9,87	35,30	1,78	10,67	9,998
		20:15	5	38,22	0,11	9,41	34,68	0,07	10,22	35,62	0,05	9,92	35,25	0,05	10,72	10,068
75,00	88,2	20:15	0	34,70	3,52	12,93	30,96	3,72	13,94	32,84	2,78	12,70	32,44	2,81	13,53	13,275
		20:20	5	34,45	0,25	13,18	30,75	0,21	14,15	32,63	0,21	12,91	32,24	0,20	13,73	13,493
80,00	94,1	20:20	0	28,68	5,77	18,95	24,78	5,97	20,12	26,70	5,93	18,84	26,24	6,00	19,73	19,410
		20:25	5	28,56	0,12	19,07	24,72	0,06	20,18	26,67	0,03	18,87	26,19	0,05	19,78	19,475
85,00	100,00	20:25	0	19,47	9,09	28,16	16,10	8,62	28,80	17,68	8,99	27,86	17,24	8,95	28,73	28,388
		20:30	5	19,42	0,05	28,21	16,10	0,00	28,80	17,65	0,03	27,89	17,22	0,02	28,75	28,413
68,00	80,00	20:31	0	19,43	-0,01	28,20	16,12	-0,02	28,78	17,65	0,00	27,89	17,24	-0,02	28,73	28,400
		20:41	5	19,45	-0,02	28,18	16,15	-0,03	28,75	17,65	0,00	27,89	17,25	-0,01	28,72	28,385
51,00	60,00	20:42	0	19,79	-0,34	27,84	16,51	-0,36	28,39	18,08	-0,43	27,46	17,52	-0,27	28,45	28,035
		20:52	5	19,80	-0,01	27,83	16,52	-0,01	28,38	18,10	-0,02	27,44	17,54	-0,02	28,43	28,020
34,00	40,00	20:53	0	20,24	-0,44	27,39	16,90	-0,38	28,00	18,64	-0,54	26,90	17,79	-0,25	28,18	27,618
		21:03	5	20,24	0,00	27,39	16,93	-0,03	27,97	18,65	-0,01	26,89	17,81	-0,02	28,16	27,603
17,00	20,00	21:04	0	21,45	-1,21	26,18	18,22	-1,29	26,68	20,07	-1,42	25,47	18,68	-0,87	27,29	26,405
		21:14	5	21,48	-0,03	26,15	18,23	-0,01	26,67	20,09	-0,02	25,45	18,71	-0,03	27,26	26,383
0,00	0,00	21:15	0	24,34	-2,86	23,29	21,35	-3,12	23,55	23,26	-3,17	22,28	21,43	-2,72	24,54	23,415
		21:20	5	24,41	-0,07	23,22	21,40	-0,05	23,50	23,38	-0,12	22,16	21,50	-0,07	24,47	23,338
		21:25	10	24,44	-0,03	23,19	21,44	-0,04	23,46	23,40	-0,02	22,14	21,54	-0,04	24,43	23,305
				<b>CARGA MÁXIMA: RECALQUE</b>				85,00	tf/m <sup>2</sup>							
				<b>TOTAL: RECALQUE</b>				28,413	mm							
				<b>PERMANENTE: RECALQUE</b>				23,305	mm							
				<b>ELÁSTICO:</b>				5,108	mm							