

## **ÂNGULO DE ATRITO EQUIVALENTE DO SOLO E ELEMENTOS DE FUNDAÇÃO EM CONCRETO, AÇO E MADEIRA**

MATHEUS MENEGASSI DADALTO<sup>1\*</sup>, NATAN DALMONECH<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Engenheiro Civil, UFES, Vitória-ES. Fone: (27) 3020-0219, matheus.dadalto@hotmail.com

<sup>2</sup> Graduando em Engenharia Civil, UFES, Vitória-ES. Fone: (27) 99733-3370, natandalmonech@hotmail.com

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC' 2015  
15 a 18 de setembro de 2015 - Fortaleza-CE, Brasil

**RESUMO:** Este artigo visa à determinação do ângulo de atrito equivalente de uma areia quartzosa facilmente encontrada na região da Grande Vitória, com os elementos que se destacam quanto a seu uso em fundações, como o concreto, o aço e a madeira. Esses elementos foram analisados e adaptados para que posteriormente, através de ensaios de cisalhamento direto, fosse possível fazer a análise da tensão de ruptura na interface do solo com elemento. Essa tensão de ruptura do solo é considerada para o dimensionamento de estruturas, conhecido como Limite Último de dimensionamento. Com obras cada vez mais verticais e esbeltas, o solo acaba sendo mais exigido e o conhecimento de suas características de resistência se torna ainda mais relevante. Como resultado, serão apresentados os ângulos de atrito do solo nas condições compacta e fofa, os ângulos de atrito equivalente entre o solo e elemento de fundação, também nas condições compacta e fofa, além de suas respectivas correlações, que são muito utilizadas na prática devido à simplificação, pois realizar tais ensaios demandam muito tempo e dinheiro. Conclui-se que os estudos dos parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo são trabalhosos, mas de fundamental importância para garantir segurança, economia e tranquilidade das pessoas envolvidas em cada área de construção.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ângulo de atrito, elementos de fundação, cisalhamento direto.

### **EQUIVALENT FRICTION ANGLE SOIL AND FOUNDATION ELEMENT IN CONCRETE, STEEL AND WOOD**

**ABSTRACT:** This article aims at determining the equivalent friction angle of quartzosa sand easily found in the Greater Victoria area, with the elements that stand out as its use in foundations such as concrete, steel and wood. These elements were analyzed and adapted to subsequently by direct shear testing, it was possible to analyze the breaking strain at the soil interface element. This soil breaking strain is considered for the design of structures, known as ultimate limit sizing. Works with increasingly vertical and slender, the soil turns out to be more required and knowledge of their resistance characteristics becomes even more relevant. As a result, soil friction angles in soft compact and conditions will be presented, the equivalent friction angle between the soil and foundation member, the compact and also soft conditions, and their respective correlations that are much used in practice because simplification, for performing such tests require time and money. It is concluded that studies of soil shear strength parameters are laborious, but of fundamental importance to ensure safety, economy and tranquility of the people involved in each construction.

**KEYWORDS:** Friction angle, foundation elements, direct shear.

### **INTRODUÇÃO**

O estudo das características dos solos baseia-se principalmente na sua capacidade de suportar cargas. Esta característica está intimamente ligada à resistência ao cisalhamento, que por sua vez, varia de acordo com a tensão que atua sobre o solo. Terzaghi & Peck (1967) concluem que as tensões normais são responsáveis pelo desenvolvimento da resistência ao cisalhamento, visto que essa tensão se desenvolve no contato grão a grão. Dessa forma, define-se resistência ao cisalhamento como sendo a consequência imediata da pressão normal ao plano de ruptura.

Os ensaios de determinação da resistência ao cisalhamento em solos podem ser realizados “in situ” ou em laboratório. No Brasil, entre os ensaios “in situ” destacam-se o Vane Shear Test, (também conhecido como ensaio de palheta) normalizado no Brasil pela ABNT através da NBR 10905/1989 e o Ensaio de Penetração de Cone (CPT – Cone Penetration Test) também normalizado pela ABNT através da NBR 12069/1991. Entre os ensaios realizados em laboratório encontram-se o Ensaio de Compressão Simples, Ensaio de Compressão Triaxial e o Ensaio de Cisalhamento Direto, objeto do presente estudo.

O ensaio de cisalhamento direto é o mais antigo e comum procedimento para a determinação da resistência ao cisalhamento de solos e se baseia diretamente no critério de ruptura de Mohr-Coulomb, ele sempre é conduzido na condição adensado e drenado. Consiste em ensaiar uma amostra de um determinado solo dentro de uma caixa bipartida com o plano de ruptura definido. O ensaio relaciona diretamente tensões normais e tensões cisalhantes para a determinação da envoltória de resistência, obtendo-se os parâmetros  $\phi$  (ângulo de atrito) e  $c$  (coesão) da amostra ensaiada, responsáveis pela resistência ao cisalhamento do solo.

Simulando uma interface de contato entre o solo e um elemento de fundação, realizaram-se ensaios com três dos elementos mais comuns: concreto, madeira e aço. O ensaio de cisalhamento direto contendo um elemento de fundação é realizado de forma similar, diferenciando-se apenas pela presença do material de fundação na parte de baixo da célula. Com os pontos plotados no gráfico  $\tau \times \sigma$ , consegue-se traçar a envoltória de resistência e obter o valor  $\delta$  (ângulo de atrito equivalente solo-fundação) e  $c_a$  (aderência entre solo e fundação).

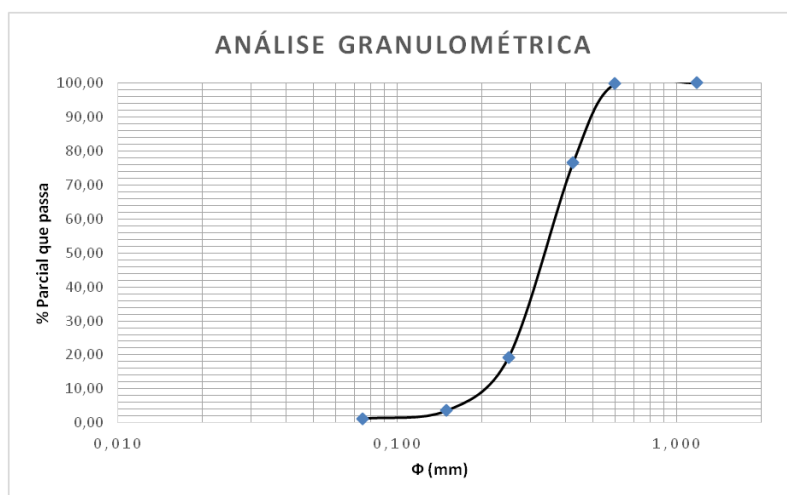
Por se tratar de um material granular, os parâmetros  $c$  e  $c_a$  são desprezíveis nesse trabalho.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O material escolhido para ensaio foi uma areia facilmente encontrada na região da Grande Vitória. Essa areia passou por uma série de ensaios em laboratório para sua caracterização, sendo que os parâmetros mais relevantes são:

- Densidade real do solo ( $G$ ) = 2,74 g/cm<sup>3</sup>
- Umidade ( $\omega$ ) = 1,6%
- Granulometria = Foi ensaiada uma massa de 120,17 g da areia e obteve-se a seguinte curva granulométrica:

Figura 1 – Análise Granulométrica da areia.

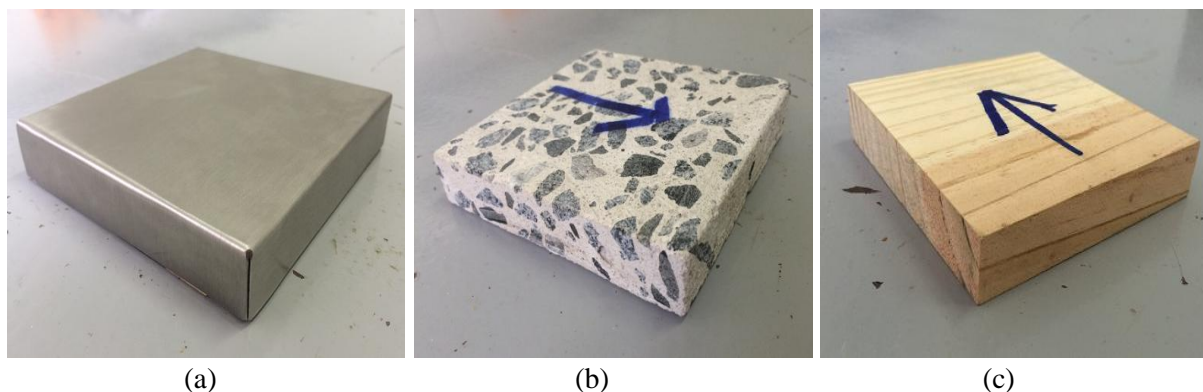


Fonte: Autor.

A partir da Análise Granulométrica, determinou-se  $D_{10} = 0,21$  mm,  $D_{30} = 0,28$  mm e  $D_{60} = 0,37$  mm, parâmetros necessários para a classificação da areia. Com eles encontra-se o Coeficiente de Uniformidade ( $C_u$ ) igual a 1,76 e o Coeficiente de Curvatura ( $C_c$ ) igual a 1,01. De acordo com o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), a areia estudada tem classificação SP sendo mal graduada, com granulometria uniforme e apresenta grãos médios de acordo com ABNT NBR 6502/1995.

Os materiais que foram utilizados para simular elementos de fundações foram analisados e adaptados para realização do ensaio de cisalhamento direto. As peças apresentam as dimensões planas da célula do ensaio de cisalhamento direto com 10 cm de lados e 2 cm de altura. Foram submetidas a ensaios de rugosidade em um rugosímetro para a determinação do parâmetro  $R_A$ . As peças são apresentadas a seguir:

Figura 2 – Materiais utilizados na interface: (a) aço, (b) concreto e (c) madeira respectivamente, com o sentido adotado para o cisalhamento.



Fonte: Autor.

Tabela 1 – Valores da rugosidade  $R_A$  dos materiais ensaiados

	$R_A$ ( $\mu\text{m}$ )
Concreto	0,0741
Aço	0,0222
Madeira	0,0618

Fonte: Autor.

Para a moldagem da amostra houve preocupação para garantir as condições fofa e compacta. Para a condição fofa do ensaio unicamente com a areia, ocorreu lançamento do material a uma altura máxima de 1,0 cm da superfície e foram posicionadas pedras porosas na parte inferior e superior. Na condição compacta do ensaio unicamente com areia, a amostra foi moldada em três camadas de mesma massa, sendo que cada camada é compactada com 8 golpes distribuídos uniformemente.

Quando o ensaio se dava com a presença de um elemento de fundação, ele era posicionado na parte inferior da célula de cisalhamento e a moldagem era similar ao ensaio unicamente com areia, diferenciando apenas pela divisão de camadas da condição compacta, que foi feita em apenas uma.

O equipamento de cisalhamento direto em solos utilizado foi o produzido pela Contenco, juntamente com software Pavitest, desenvolvido com o intuito de servir como suporte na execução dos ensaios.

O ensaio de cisalhamento direto sempre é realizado na condição adensado drenado com deformação controlada, ou seja, a partir de uma velocidade constante predeterminada, tem-se a deformação solicitada. A velocidade do ensaio depende do coeficiente de adensamento, assim como da compressibilidade e permeabilidade do solo, e deve garantir a condição drenada de carregamento. Segundo Lambe (1951), velocidades entre 0,15 e 2,00 milímetros por minuto garantem pouca variação na relação tensão-deformação. Com a experiência e o auxílio dos profissionais envolvidos nesses ensaios, foi adotado uma velocidade de 0,5 milímetros por minuto. Limitou-se também o deslocamento horizontal em 15 milímetros, o que resulta na duração 30 trinta minutos do ensaio, o suficiente para que ocorra a ruptura da amostra.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados dos ensaios de cisalhamento direto obtidos a partir das tensões normais ( $\sigma$ ) de 50, 100 e 200 kPa, contendo o ângulo de atrito ( $\phi$ ), o ângulo de atrito

equivalente solo-fundação ( $\delta$ ), a relação  $\delta/\phi$  e a média dos índice de vazios ao início do ensaio de cisalhamento direto das três tensões normais ( $e_0$ ).

Tabela 2 – Valores obtidos a partir dos ensaios de cisalhamento direto

	$\phi$ ou $\delta$	$\delta/\phi$	$e_0$
Areia Fofa	31,62°	-	0,86
Areia Fofa com Aço	24,58°	0,78	0,87
Areia Fofa com Concreto	28,94°	0,92	0,76
Areia Fofa com Madeira	28,89°	0,91	0,83
Areia Compacta	38,76°	-	0,60
Areia Compacta com Aço	31,65°	0,82	0,67
Areia Compacta com Concreto	31,77°	0,82	0,62
Areia Compacta com Madeira	30,00°	0,78	0,67

Fonte: Autor.

Pode-se observar que as relações  $\delta/\phi$ , tanto da areia fofa, quanto da areia compacta quando em contato com os elementos de fundação são menores do que 1,00, comprovando a teoria apresentada por Das (1983).

Comprova-se também que a simplificação adotada de  $\delta = 2/3 \phi$ , apresentada por diversos autores em obras envolvendo muro de arrimo, é conservadora se comparada ao presente estudo e quando não há a disponibilidade dos ensaios do determinado solo onde será implantada a obra, essa simplificação poderá ser utilizada, já que os seus resultados são a favor da segurança.

## CONCLUSÕES

Conclui-se nesse trabalho que os parâmetros relevantes à resistência do solo são de primordial importância para o dimensionamento dos mais diversos tipos de obras, e por isso devem receber o máximo de atenção possível.

Como ensaios em laboratório necessitam de tempo e oneram as obras, as simplificações são bastante difundidas no cenário atual. Para o ângulo de atrito equivalente solo-fundação ( $\delta$ ), destacando-se sua utilização em muros de arrimo, onde a relação  $\delta/\phi$  fica entorno de 1/2 a 2/3, o presente estudo pode comprovar que essa simplificação é correta e conservadora para a areia estudada.

## REFERÊNCIAS

- Terzaghi K.; Peck R. B. Soil Mechanics in Engineering Practice, 2ª edição, John Wiley & Sons, Inc. 1967, 729p.
- ASTM D3080/D3080M – 11. Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. January 2011.
- ABNT NBR 6502. Rochas e Solos. Rio de Janeiro, 1995. 18 p.
- Das, B. M. Fundamentos de engenharia geotécnica, São Paulo: Cengage Learning, 2013, 610p.
- VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. Fundações, vol.2, Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2002, 472p.
- ABNT NBR 7181. Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1984. 13 p.
- ABNT NBR NM ISO 3310-1. Peneiras de ensaio. Rio de Janeiro, 2010. 9 p.