



ESTUDO DA RESISTÊNCIA DE INTERFACE ENTRE SOLO RESIDUAL DE ITABIRITO E NATA DE CIMENTO ATRAVÉS DE ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Stefania Darold Souza

FGS Geotecnia, São Leopoldo, Brasil, stefania@fgs.eng.br

Felipe Gobbi

FGS Geotecnia, Porto Alegre, Brasil, felipe@fgs.eng.br

Nicolas Fonseca

Unisinos, Porto Alegre, Brasil, nicolasof94@gmail.com

Gabriel Matielo

Unisinos, Porto Alegre, Brasil, gabi-matielo@hotmail.com

RESUMO: O estudo da adesão solo x nata de cimento é de especial importância para a técnica de estabilização de taludes denominada solo grampeado. Esta técnica consiste basicamente na inserção de grampos (barras de aço) na massa (solo/rocha) que deve ser estabilizada, associados ao faceamento de concreto projetado ou de telas metálicas de alta resistência. A resistência ao cisalhamento na interface do solo com o grampo (q_s), ainda não tem um comportamento completamente compreendido, pois as distribuições das forças no comprimento dos grampos não são uniformes. O q_s interfere diretamente no comprimento dos grampos, logo, na segurança e economia da obra, por isso a relevância do estudo do mesmo. A determinação desse parâmetro é feita somente com ensaios de arrancamento realizados em campo, normalmente após o início da obra e seus resultados são usados para uma readequação de projeto. Uma tentativa de utilização de ensaios de cisalhamento direto de interface em laboratório para estimativa de Q_s foi desenvolvida neste trabalho, e através das envoltórias de ruptura foram obtidos valores para o ângulo de atrito interno e coesão dessa interface. Foi possível perceber um incremento de resistência ao cisalhamento nos ensaios realizados na interface solo – nata de cimento em relação aos ensaios realizados somente com o solo, isso se dá pela adesão da nata no solo. O solo em questão é composto por itabiritos, hematitas e filitos, possuindo um q_s entre 100 kPa e 300 kPa, os valores de q_s encontrados a partir do método de laboratório são próximos as 125 kPa. Ainda são necessários desenvolvimentos para se propor uma correlação, mas os resultados preliminares são promissores.

PALAVRAS-CHAVE Solo grampeado, ensaios de cisalhamento direto, interação solo x nata de cimento.

1 INTRODUÇÃO

A técnica de solo grampeado se originou na execução de reforços em túneis em rocha ou solos resistentes. Foi usada pela primeira vez como técnica de estabilização de taludes na França no início dos anos 70, devido aos

investimentos recebidos pelo governo francês ganhou espaço no restante do mundo.

Atualmente o solo grampeado é muito utilizado para a estabilização de taludes, tanto naturais quanto de corte por se tratar de uma intervenção muito rápida, econômica e de pouca interferência ao meio em que ocorre. A técnica



de solo grampeado consiste basicamente na introdução de barras de aço que funcionarão como reforço para o solo combinadas com um faceamento em concreto projetado ou tela metálica e drenagem.

As barras de aço usadas para a execução do solo grampeado comumente são chamadas de grampos, a adesão desta barra ao solo se dá, normalmente, pela injeção de nata de cimento, que também tem a finalidade de proteger a barra contra corrosão. O efeito de estabilização gerado pelo grampo se dá basicamente pelo atrito mobilizado entre este e o solo.

A determinação da grande maioria dos parâmetros necessários é realizada em laboratório, porém a determinação da força cisalhante do contato solo-grampo (q_s) é realizada em campo através de ensaios de arrancamento, pois não existe na atualidade um método alternativo viável. O que causa alguns transtornos no âmbito de projeto, principalmente pelo fato dos ensaios serem realizados normalmente após o início da obra, pois se torna muito oneroso na fase de projeto.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta revisão de literatura apresentar uma contextualização geral sobre a técnica de solo grampeado, entre eles o histórico, formas de utilização, formas de execução, mecanismos de ruptura e por fim as diretrizes e referenciais relevantes para o dimensionamento, também como uma breve levantamento de resultados já obtidos com o solo em questão.

2.1 Solo Grampeado

O solo grampeado é uma técnica utilizada para a estabilização de massas de solo ou blocos de rocha, onde um elemento passivo (barra de aço) nomeado de grampo é introduzido no solo, combinado com um faceamento de concreto projetado ou tela metálica. Esse sistema é uma derivação da técnica de suporte de escavação

em tuneis New Austriac Tunneling Method (NATM) (CLOUTERRE, 1991).

Os grampos são alocados em um determinado espaçamento e usualmente inseridos em conjunto com a Nata de Cimento, uma vez que a mesma atua como ligação entre a barra e o solo e também como uma proteção contra a corrosão. (CLOUTERRE, 1991).

2.1.1 Comportamento do Solo Grampeado

Normalmente as estruturas de solo grampeado são dimensionadas através da técnica de equilíbrio limite, que leva em consideração as instabilidades local e global. Para entender a técnica do solo grampeado é importante entender como tal se comporta quando submetidos a esforço. (ORTIGÃO et al., 1993). Esses esforços podem ser divididos em internos, externos e mistos como mostra a Figura 1:

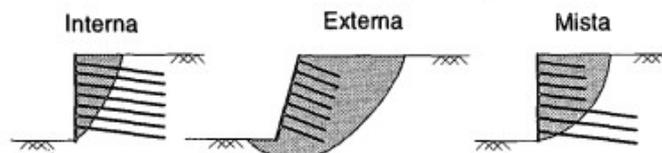


Figura 1. Superfícies de Ruptura (Ortigão et al. 1993)

2.1.2 Considerações de projeto

Segundo o Geoguide 7 (2008), um projeto de solo grampeado deve atender os requisitos de estabilidade, facilidade de manutenção, durabilidade, custo e também os impactos ambientais.

No que diz respeito a estabilidade é importante destacar que o projeto de solo grampeado deve garantir que haja uma margem de segurança para as possíveis falhas do sistema. Deve-se também avaliar a estabilidade interna e estabilidade externa, essa análise geralmente é feita pelo método do equilíbrio limite, método proposto por Fellenius e posteriormente aprimorado por outros autores. (GEOGUIDE 7, 2008). Atualmente os recursos de software são



muito explorados, tanto para análise de equilíbrio limite quanto para o cálculo de deformações.

Segundo Clouterre (1991), as bases de um projeto de solo grampeado devem ser o comprimento e inclinação dos grampos e os espaçamentos horizontais e verticais entre os eles. Esses fatores são dimensionados de acordo com a geometria do talude, propriedades do solo, característica da barra e da nata de cimento.

2.1.3 Elementos do Solo Grampeado

Segundo Lazarte et al. (2003) o sistema de solo grampeado é composto basicamente pelos seguintes elementos:

- Barras de aço;
- Calda de cimento,
- Proteção contra a corrosão;
- Faceamento;
- Placas de fixação;

2.2 Resistência ao Cisalhamento de Interface

A resistência ao cisalhamento na interface entre o grampo e o solo, ocorre devido ao atrito que existe entre eles quando uma massa é mobilizada. Essa interação é complexa e não muito bem entendida. (GEOGUIDE 7, 2008).

2.2.1 Elementos do Solo Grampeado

Segundo Geoguide 7(2008), os grampos têm a função de unir a zona passiva e a zona ativa. Sendo que zona passiva e a zona ativa são divididas por uma linha de falha, linha essa que é localizada onde a ocorrência de ruptura é mais provável, essa linha pode ser chamada de superfície de ruptura. A zona passiva se encontra após a superfície de ruptura na área que está estável, já a zona ativa está antes da superfície de ruptura e tende a se desprender do sistema, pois está na área instável.

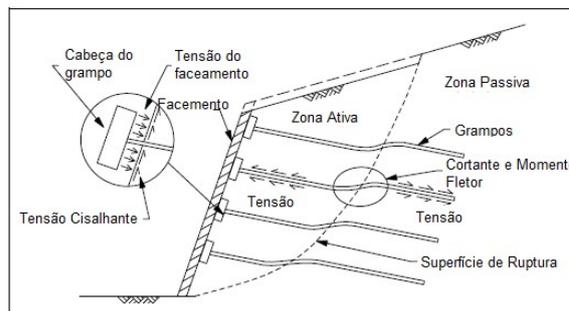


Figura 2. Modelo de divisão das zonas de atuação da força dos grampos (Adaptado de Geoguide 7 2008).

Os esforços internos do grampo ocorrem em direções opostas dentro das zona passiva e zona ativa, como mostra a Figura 2 esses esforços provocam uma tensão normal de tração no grampo. A inversão do sentido de esforço de tração ocorre na superfície de ruptura, já que o solo da zona passiva tensiona o grampo em um sentido e a zona ativa o tensiona no sentido oposto. Nesse mesmo ponto, o grampo fica submetido a esforços de cisalhamento e momento fletor, devido a movimentação da massa ativa. (GEOGUIDE 7,2008).

Lazarte et al. (2003) diz que o fato do grampo ter vínculos em duas regiões distintas (uma passiva e outra ativa) os esforços de tração se distribuem ao longo da barra, aumentando a partir da face do talude até o ponto de intersecção da zona ativa com a passiva (na superfície de ruptura).

Os mecanismos citados anteriormente são mecanismos complexos que envolvem propriedades mecânicas do solo, considerações de projeto (inclinação, orientação e comprimento dos grampos), a resistência ao cisalhamento do solo e o atrito entre o solo e o grampo. Isso dificulta o desenvolvimento de metodologias para determinação dos mesmos, por isso ainda é imprescindível a realização dos ensaios de campo. (LAZARTE, 2003).

2.3 Determinação do q_s

A resistência ao cisalhamento do solo (q_s) pode ser determinada a partir de ensaios de



arrancamento, correlações a partir de parâmetros do solo já conhecidos ou valores típicos de q_s para determinados tipos de solo presente em outras bibliografias.

2.3.1 Correlação para estimativa de q_s

Devido à dificuldade de execução dos ensaios para determinação do q_s antes da obra, vários autores desenvolveram métodos de previsão de resistência ao cisalhamento de interface (q_s), métodos esses desenvolvidos a partir de modelos teóricos. Porém esses modelos são relevantes somente para uma previsão da determinação do q_s , previsão essa que tem como principal função determinação da viabilidade ou não da obra.

A correlação mais relevante para o estudo em questão é a apresentada por Milan (2016), que combina correlações apresentadas por Heymann (1992) e Prahadhan (2003):

$$q_{est} = (c' + \sigma n' \tan \phi') \quad (1)$$

Onde:

q_{est} = resistência ao cisalhamento de interface (kPa);

c' = coesão (kPa);

$\sigma n'$ = tensão normal ao grampo (kPa);

ϕ' = ângulo de atrito interno (°).

Dessa maneira usando os dados obtidos nos ensaios de cisalhamento é possível determinar o q_s .

2.3.2 Valores típicos de q_s

Como mencionado anteriormente a difícil obtenção de valores de q_s antes do início da obra, impõe muitas vezes o projetista conceba o projeto a partir de correlações ou de valores típicos de q_s , valores esses que foram obtidos em outros ensaios e que as características são semelhantes a do projeto em questão, esses valores são apresentados na Figura 3

Material	Tipo de Rocha/Solo	Aderência Q_s (kN/m ²)
Rocha	Calcários	300-400
	Filito	100-300
	Dolomita mole	400-600
	Dolomita Fissurada	600-1000
	Arenito Intemperizado	200-300
	Basalto	500-600
Solos Não coesivos	Areia Siltosa	100-150
	Silte	60-75
	Colúvio	75-150
	Areia	380
Solos Finos	Argila Siltosa	35-50
	Silte Argiloso	90-140
	Argila Mole	20-30
	Argila Rija	40-60

Figura 3. Valores típicos de Q_s (Adaptado de Elias e Juan Rosa 1999, apud Da Rosa 2015)

3 MATERIAIS E METÓDOS

3.1 Materiais

O solo estudado no presente trabalho se encontra na cidade de Nova Lima, no estado de Minas Gerais, na região conhecida como quadrilátero ferrífero, conforme apresentado na Figura 4. O local em questão se trata de uma mina de extração de ferro que está em processo de fechamento.

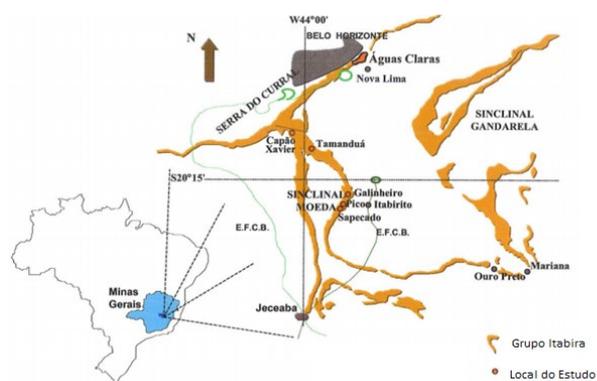


Figura 4. Mapa de Localização (Adaptado Spier, 2005)

O ponto mais importante a ser abordado é que o local de onde é a amostra foi retirada é uma antiga mina de minério de ferro, sendo o solo em estudo classificado como Itabirito Friável.

3.1.1 Características geológicas do local



Segundo Spier (2005) o local em que a mostra foi retirada é formado por rochas metassedimentares, que estão agrupadas no Supergrupo Minas.

Segundo Baltazar et. al (2005) a atual formação do Supergrupo Minas é dividida entre os seguintes grupos: Sabará, Piracicaba, Itabira e Caraça.

Segundo o CPRM (2008), Figura 5, o grupo mais relevante para esse estudo é o grupo Itabira, esse grupo é dividido em uma porção inferior, formação Cauê, sendo composta basicamente por itabiritos e uma porção superior a formação Gandarela, composta por rochas carbonáticas, filitos e formações ferríferas, a divisão entre as formações não está bem delimitada, ocorre uma intercalação entre filitos e dolomitos tanto horizontalmente como verticalmente (PIRES, 1995). Essa formação ferrífera mais espessa do supergrupo minas, com aproximadamente 300 metros de espessura.

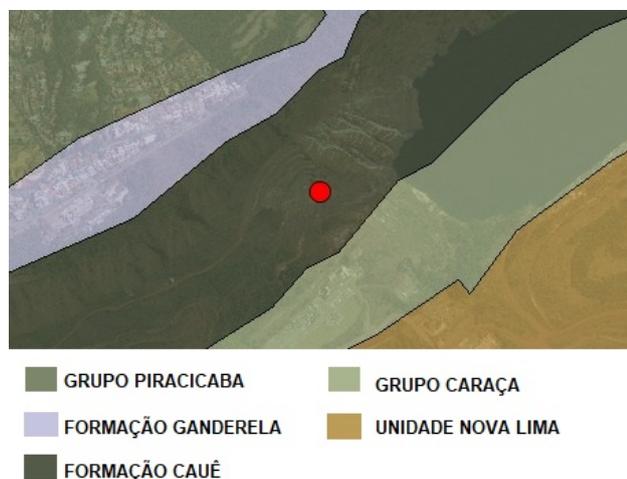


Figura 5. Geologia da Região (CPRM, 2008).

3.1 Métodos

Será apresentada a metodologia empregada na execução dos ensaios de laboratório.

Para a realização desse estudo, foram feitas duas amostragens de retirada de solo, uma delas para a realização dos ensaios de cisalhamento direto solo – Nata de Cimento e outra para os

ensaios de cisalhamento solo – solo. Ambas foram retiradas do mesmo lugar, mas em dias diferentes e são constituídas de material desagregado.

Isso ocorreu porque não havia solo o suficiente para a moldagem de todos os corpos de prova.

3.1 Caracterização do Solo

Os ensaios de caracterização do solo foram feitos a partir das normativas da ABNT. Os ensaios realizados foram os seguintes: Peso específico real dos grãos, análise granulométrica (por peneiramento e sedimentação, de forma complementar para as partículas passantes na peneira #200 foi utilizada a técnica de determinação do tamanho das partículas pela difração a laser, essa técnica é normatizada pela ISO 13320 (2009)), limite de liquidez e limite de plasticidade.

3.1 Moldagem dos corpos de prova

Para os ensaios de cisalhamento direto os corpos de prova foram remoldados, devido à dificuldade de se obter amostras indeformadas para este tipo de material. Os corpos de prova foram remoldados em uma forma de plástico com dimensões de 5cmx5cmx2cm.

Foram remoldados um total de dezesseis corpos de prova, sendo de dois tipos diferentes, quatro deles contendo somente solo e outros doze sendo metade de solo metade nata de cimento, conforme Figura 6 e Figura 7 respectivamente:



Figura 6. Corpo de prova solo-solo (Autor).



Figura 7. Corpo de prova solo-nata de cimento (Autor).

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Caracterização do Solo

Na tabela abaixo serão apresentados os resultados dos ensaios de caracterização do solo.

4.2 Ensaios de Cisalhamento Direto Solo-Solo

Os resultados apresentados no Gráfico 1 serão dos ensaios de cisalhamento direto para os corpos de prova solo-solo.

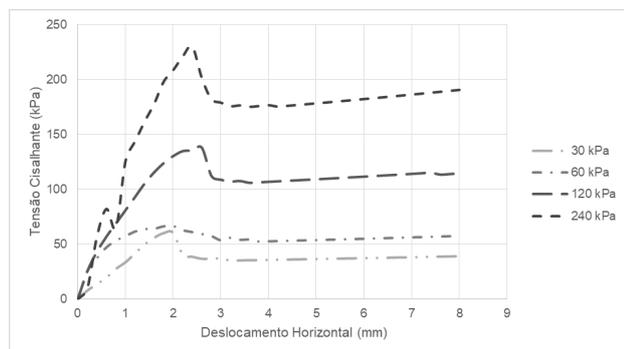
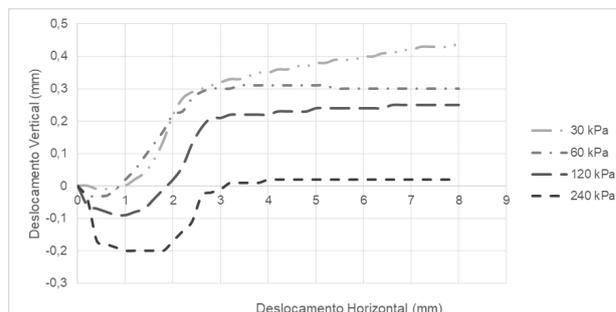


Gráfico 1. Cisalhamento da amostra solo-solo (a) Tensão cisalhante x Deslocamento horizontal



(b) Deslocamento vertical x Deslocamento horizontal

Os ensaios apresentam um comportamento típico de solo onde ocorre o fenômeno da dilatância, muito comum em solos compactos. Isso pode ser observado principalmente na Gráfico 4b, onde ocorre em deformações iniciais uma compressão volumétrica e no decorrer do ensaio com o incremento de deslocamento horizontal ocorre um aumento volumétrico, mostrando que o corpo de prova passou por um processo de expansão durante o ensaio, sendo mais evidente nos ensaios com uma tensão normal aplicada menor.

A dilatância promove um pico de resistência ao cisalhamento, o que resulta no surgimento de um intercepto coesivo, mesmo para solos granulares.

Na Tabela 1 se observa a comparação dos ensaios realizados com estudos progressos com o mesmo solo:

Tabela 1. Comparação com estudos progressos

Ensaio	Índice de Vazios	Comportamento	Amostra
Darold (2018)	0,65	Dilatante	Deformada
FGS (2014/2015)	0,42	Não dilatante	Não deforma-da
FGS (2014/2015)	0,72	Não dilatante	Não deforma-da
Rosenbach (2018)	0,74	Não dilatante	Deformada
Milan (2015)	0,57	Dilatante	Deformada

Quando comparados os ensaios com estudos progressos observa-se que os presentes ensaios se comportam de forma semelhante apenas com os apresentados por Milan (2015), sendo dilatantes em todas as tensões e mais dilatantes



em tensões menores.

Esse comportamento dilatante pode se dar pela forma de execução da remoldagem, já que não ocorre um controle entre as camadas realizadas, podendo assim ter ocorrido uma variação no índice de vazios de cada camada.

Também foram obtidas as envoltórias de ruptura das tensões cisalhantes máximas encontradas para cada tensão normal aplicada e também as tensões obtidas para grandes deformações, nesse caso 4 milímetros, onde já ocorreu uma estabilização da tensão e do deslocamento, esses resultados são apresentados no Gráfico 2.

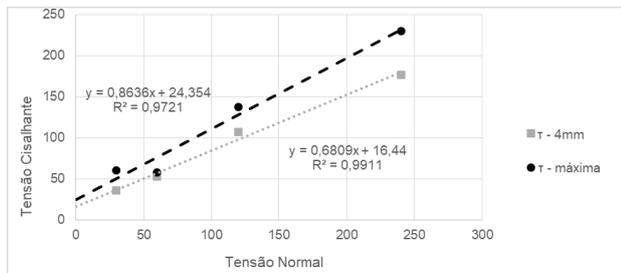


Gráfico 2. Envoltória de ruptura solo-solo

Com as envoltórias é possível determinar a coesão e o ângulo de atrito interno, e a dispersão dos ensaios, esses resultados são apresentados na Tabela 2:

Tabela 2 – Resumo dos Resultados da Envoltória de Resistência Solo - Solo

Envoltória	ϕ (°)	c' (kPa)	R^2
Pico	41	24,4	0,9721
Residual	34	16,4	0,9911

Estes valores mais altos de resistência de pico foram obtidos devido a dilatância pronunciada do material, superior a de todos os estudos progressos. Dessa forma analisando a envoltória de ruptura gerada pela tensão cisalhante nas grandes deformações, ela apresenta uma condição semelhante a encontrada em trabalhos anteriores, sendo provavelmente a mais representativa para o estudo em questão devido à proximidade das amostras anteriores ao grampo de ensaio em relação as amostras deste

estudo.

4. Ensaios de Cisalhamento Direto Solo – Calda de cimento

Os resultados obtidos nos ensaios de cisalhamento direto na interface do solo com a nata de cimento são apresentados no Gráfico 3:

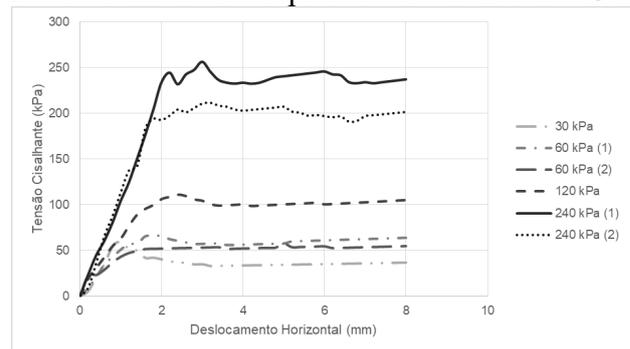
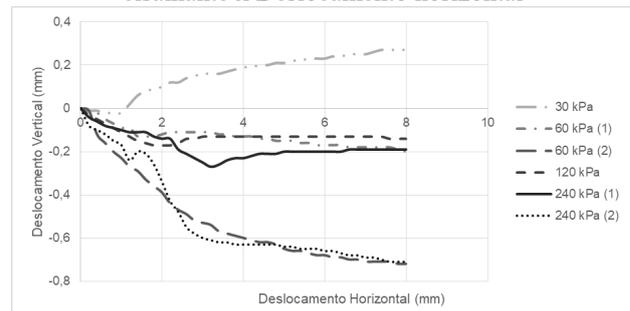


Gráfico 3 - Cisalhamento da amostra solo-nata (a) Tensão cisalhante x Deslocamento horizontal



(b) Deslocamento vertical x Deslocamento horizontal

Com os dados obtidos de cisalhamento máximo foi possível gerar a envoltória de rupturas para o ensaio, foram geradas duas envoltórias, uma para as tensões cisalhantes máximas e outra para as tensões cisalhantes em grandes deformações, 4 milímetros. Os resultados são apresentados no Gráfico 4:

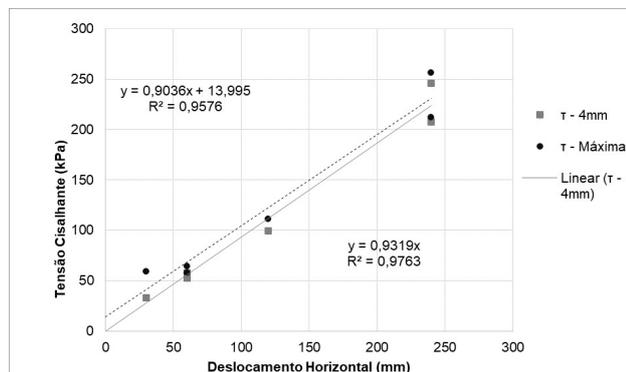


Gráfico 4. Envoltória de ruptura solo – Nata de Cimento

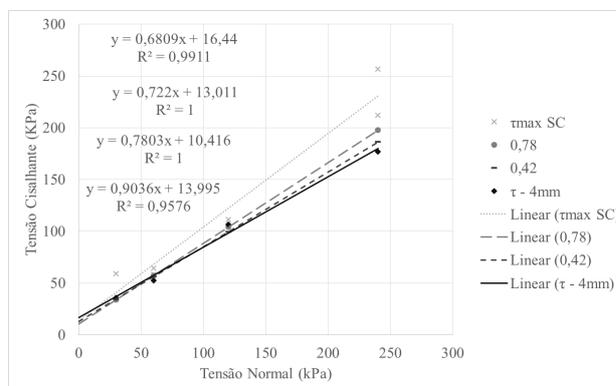


Gráfico 5. Comparação das Envoltórias de Ruptura

Com as envoltórias é possível determinar a coesão, o ângulo de atrito interno, e a dispersão dos resultados, apresentados na Tabela 3:

Tabela 3. Resumo dos Resultados da Envoltória de Resistência Solo - Nata

Envoltória	ϕ (°)	c' (kPa)	R^2
Pico	42	14	0,9036
Residual	43	0	0,9319

Considerando os trabalhos até hoje realizados que já foram citados anteriormente, as envoltórias de ruptura para as tensões cisalhantes máximas obtidas nos ensaios solo – nata apresentam maior resistência ao cisalhamento do que os demais ensaios. Os valores de pico dos ensaios solo – solo apresentaram resistência mais elevada que os ensaios das referências estudadas, mas também apresentaram dilatação pronunciada, diferente dos demais, o que leva a conclusão de que a amostra utilizada nos ensaios solo – solo apresentou alguma diferença em relação as amostras solos – nata.

4.3 Comparação dos Resultados

Para a comparação dos ensaios foram usadas as retas de tendência de cada uma das envoltórias de ruptura para gerar valores de tensão cisalhante a partir das tensões normais aplicadas no ensaio solo – Calda de Cimento, os resultados são encontrados no Gráfico 5 e resumidos na Tabela 4

Tabela 4. Comparativo de tensão de cisalhamento

Ensaio	Tensão Cisalhante para 30kPa (kPa)	Tensão Cisalhante para 60kPa (kPa)	Tensão Cisalhante para 120kPa (kPa)	Tensão Cisalhante para 240kPa (kPa)
Solo - Nata	41	68	122	231
Solo - Solo 0,42	35	56	100	186
Solo - Solo 0,65 - 4mm	37	57	98	180
Solo - Solo 0,78	34	57	104	198

Analisando os valores obtidos se percebe que a combinação de solo – Nata de Cimento apresenta um ganho significativo de resistência, até quando comparado com os valores para índice de vazios de 0,42, índice esse que faz com que o solo tenha uma resistência ao cisalhamento maior que quando índice de vazios menores como 0,65, que foi a qual a amostra em questão foi moldada. A diferença de resistência a tensão cisalhante é apresentada no Tabela 5, onde é possível observar que as amostras de solo – Nata de Cimento tiveram um incremento de tensão em relação a todos os ensaios analisados, incremento esse que pode ter ocorrido pela adesão do concreto



no solo, assim como acontece quando executa em campo. Também percebe-se que o incremento de ganho de resistência ao cisalhamento aumenta também diante da tensão normal aplicada.

Tabela 5 . Incremento de tensão obtida com a amostra solo – Nata de Cimento em relação aos ensaios solo – solo.

Ensaio	Incremento de Tensão de Cisalhante e para 30kPa (kPa)	Incremento de Tensão de Cisalhante e para 60kPa (kPa)	Incremento de Tensão de Cisalhante e para 120kPa (kPa)	Incremento de Tensão de Cisalhante e para 240kPa (kPa)
Solo - Solo 0,42	6	12	22	45
Solo- Solo 0,65 – 4mm	4	11	24	51
Solo - Solo 0,78	7	11	18	33

4.4 Resultados obtidos através das correlações

4.4.1 Parâmetros dos ensaios de cisalhamento direto solo – solo.

A partir da equação 1 e utilizando os dados obtidos para a interface do solo com a Nata de Cimento durante a realização desse trabalho é possível estimar valores de resistência ao cisalhamento de interface (q_s). Com uma tensão vertical média 113 kPa, ângulo de atrito de 34° e uma coesão de 16,4 kPa.

O q_s estimado nesse caso foi de 92,6 kPa.

4.4.2 Parâmetros dos ensaios de cisalhamento direto solo – nata de cimento.

A partir da equação 1 e utilizando os dados obtidos para a interface do solo com a Nata de

Cimento durante a realização desse trabalho é possível estimar valores de resistência ao cisalhamento de interface (q_s). Com uma tensão vertical média 113 kPa, ângulo de atrito de 42° e uma coesão de 14 kPa.

O q_s estimado nesse caso foi de 125 kPa.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação a caracterização do solo, o solo se mostra através da granulometria uma areia siltosa, não plástico.

Em relação aos ensaios de cisalhamento direto realizados nos corpos de prova solo – solo, apresentaram picos de resistência em todas as tensões estudadas, não apresentando uma tensão de transição, também apresentaram inicialmente um comportamento de compressão e próximo dos 4 milímetros de deformação foi percebida uma expansão volumétrica, caracterizado pela dilatância. Apresentaram ângulo de atrito e coesão alto, comportamento não percebido em trabalhos progressivos. O que leva a concluir que a amostra utilizada nestes ensaios (fruto de amostragem específica) difere das demais.

Os ensaios de cisalhamento direto realizados nos corpos de prova solo – nata de cimento, apresentaram um comportamento de compressão volumétrica e não apresentaram picos de resistência, exceto o ensaio em 30 kPa, o que pode ser explicado pela dilatância que é mais comum em tensões normais mais baixas. Também porque a tensão de transição do material neste índice de vazios provavelmente se encontra entre 30 kPa e 60 kPa. Em relação aos parâmetros de resistência do solo, ocorre um incremento de ângulo de atrito considerável em relação aos ensaios realizados somente com solo.

Em relação a comparação dos ensaios de cisalhamento direto solo – solo e solo – nata de cimento, percebeu-se um incremento de resistência ao cisalhamento, isso se deve a adesão da nata ao solo. A nata penetrando no



solo, faz com que a interface tenha maior resistência em relação ao contato solo – solo, sendo assim possível mensurar a interferência da Nata de Cimento no solo, que se caracteriza como a diferença de incremento de resistência entre as envoltórias solo – solo e solo – nata de cimento.

Quando comparado ao q_s obtido a partir das correlações para o ensaios solo - solo e solo nata de cimento, que são respectivamente 92,6 kPa e 125 kPa, é possível identificar um incremento de resistência na interface.

Quando os valores obtidos para q_s dos ensaios solo – nata de cimento são comparados com valores típicos de q_s percebe-se que 125 kPa ficou dentro da faixa de domínio dos filitos que é entre 1000 kPa E 300 kPa.

REFERÊNCIAS

- BALTAZAR, O. F.; BAARS, F. J.; LOBATO, L. M.; REIS, L. B.; ACHTSCHIN, A. B.; BERNI, G. V.; SILVEIRA, V. D. In: Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero – Integração e correção cartográfica em SIG. Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero
- CLOUTERRE. Recommendations Clouterre – Soil recommendations for designing, calculating, constructing and inspecting earth support systems using soil nailing. French National Project Clouterre, English Language Translation, 1991.
- CPRM. Carta geológica – Folha SE.23-Z-C-VI – Belo Horizonte. Disponível em: <
<http://geobank.cprm.gov.br> >. Acesso: 14 agosto 2018.
- FGS Geotecnia, relatório de ensaios (2014);
- GEOGUIDE 7. Guide to Soil Nail Design and Construction. Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering and Development Department. The government of Hong Kong. Special Administrative Region, Hong Kong, 2008.
- HEYMANN, G. ROHDE, A.W, SVHAWRTZ, K. E FRIENDLAENDER E, Soil Nail Pull Out Resistance in Residual Soils. Internacional Symposium on Earth Reinforcement Practice, Proceedings, Japan, v.1, pg. 487-492, 1992.
- LAZARTE, C. A., ELIAS, V., ESPINOSA, D., SABATINI, P. J. Geotechnical engineering circular n.7 – soil nailing. US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington D.C., p. 314, 2003.
- MILAN JUNIOR, H. F. Estudo do comportamento de chumbadores: ensaios de arrancamento instrumentados. 2016. 100 f. Trabalho de Conclusão. (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- PRADHAN, B. Study of pullout behaviour of soil nails in completely decomposed granite fill. 2003. 134p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - The University of Hong Kong, Hong Kong Special Administrative Region, 2003.
- ORTIGÃO, J. A. R.; PALMEIRA, E. M.; ZIRLIS, A. Experiência com solo grampeado no Brasil: 1970-1993. Revista Solos e Rochas, local, v. 16, n. 4. p. 291-304, 1993.
- ROSA, Bruno Denardin da, Faceamento de Solo Grampeado com Malhas de Aço – Estudo dos Critérios de Dimensionamento. Dissertação (Mestrado em Engenharia), UFRGS, 2015.
- ROSENBAACH, C. M. C. Comportamento Mecânico do Itabirito Silicoso Friável do Quadrilátero Ferrífero, MG. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.
- SPIER, C.A. Geoquímica e gênese das formações ferríferas bandadas e do minério de ferro da Mina de Águas Claras, Quadrilátero Ferrífero, MG. 2005. 323 f. Tese. (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.