

Utilização de resíduo da construção e demolição como reforço de um solo residual de basalto, servindo como base de fundações superficiais

Use of construction and demolition waste as reinforcement of a basalt residual soil, serving as basis of shallow foundations

Matheus De Conto Ferreira, Antônio Thomé

Universidade de Passo Fundo – UPF, Passo Fundo, RS

e-mail: mdcf87@hotmail.com, thomé@upf.br

RESUMO: O grande volume de resíduos gerados pela atividade da construção civil tem causado vários problemas ao meio ambiente. Uma das alternativas para minimizá-los é a reciclagem de RCD (Resíduo da Construção e Demolição). O presente estudo buscou avaliar a possibilidade da utilização de resíduos da construção e demolição (RCD) como reforço de um solo residual de basalto, visando a sua aplicação como base de fundações superficiais. Através de ensaios realizados, verificou-se que a mistura de solo-RCD com 50% de resíduo na sua composição apresentou o melhor resultado de resistência. Através de ensaios de placa, notou-se um aumento da carga de ruptura em 264% com a adição de resíduo no solo. Houve também um aumento nos módulos de elasticidade do solo-RCD quando comparado ao solo natural. Os resultados obtidos mostram a viabilidade técnica da utilização de resíduo da construção e demolição como reforço de um solo residual de basalto, servindo como base de fundações superficiais.

ABSTRACT: The large volume of waste generated by construction activity has caused many problems to the environment. An alternative to reduce them is the recycling of CDW (Construction and Demolition Waste). The study sought to evaluate the viability of use the construction and demolition waste (CDW) as reinforcement of a basalt residual soil, aiming at its application as basis of shallow foundations. Through tests, it was found that the soil-CDW mixture with 50% of waste in its composition showed the best resistance. Through plate tests, it was noted an increase breaking load in 264% with the addition of waste in the soil. There was also an increase in elastic modulus of the soil-CDW when compared to the natural soil. The results show technical viability of use the construction and demolition waste as reinforcement of a basalt residual soil, serving as basis of shallow foundations.

1. INTRODUÇÃO

O grande volume de resíduos gerado pelas atividades da construção civil, na maioria das vezes, não apresenta uma destinação correta e causa diversos transtornos à sociedade e prejuízos ao meio ambiente.

A partir da década de 90 houve um significativo aumento na geração dos resíduos de construção e demolição (RCD) nas cidades [16].

As estimativas a respeito de geração de RCD afirmam que no Brasil a geração per capita é de 510 kg/hab/ano [13].

Em uma população urbana com 140 milhões de pessoas, estima-se uma geração de 70 milhões de

toneladas por ano de RCD. Só a cidade de São Paulo gera em um dia cerca de 16.000 toneladas, o que corresponde a 499 kg/hab/ano. Dessa geração em São Paulo, há uma estimativa de que apenas um terço do montante de RCD produzido chega aos aterros públicos, sendo que o restante é descartado irregularmente [15].

Pinto [13] estimou que o RCD gerado em atividades de reformas, manutenção e demolição variam entre 42% e 80% do total gerado em obras, dependendo das características de cada cidade brasileira.

Lucena [10] constatou que no Brasil, os resíduos de construção civil são compostos principalmente de tijolos, areias e argamassas,

correspondendo a um valor próximo de 80% do total. A outra porcentagem corresponde a restos de concreto (9%), de pedras (6%), de cerâmica (3%), de gesso (2%) e de madeira (1%). Independentemente do tipo de obra considerada, os resíduos de tijolo, argamassa e areia são os mais gerados.

A demanda de construções vem crescendo cada vez mais nas cidades. Quanto maior for a cidade, maiores serão os problemas envolvendo os RCD na construção civil. O não reaproveitamento do RCD leva a falta de locais apropriados para seu descarte [9].

Os resíduos da construção civil geram um grave problema de acúmulo no país, apesar apresentarem baixa periculosidade. Isso se deve ao grande volume produzido e depositado de forma inadequada. Assim, a construção civil tem sido alvo de muitas críticas em relação a desperdícios de materiais [12].

Uma forma de diminuir os problemas causados pelo acúmulo de resíduos é a sua reciclagem. Alternativas viáveis já estão sendo utilizadas em alguns países, como por exemplo, a produção de novos agregados reciclados para substituírem agregados naturais, a utilização de resíduos de construção em concretos, argamassas, pavimentos, contenções, aterros, solos reforçados, entre outros. O reaproveitamento de resíduos de construção e demolição, além de proporcionar melhorias do ponto de vista ambiental, é uma alternativa muitas vezes economicamente vantajosa, pois um novo material pode ser criado, reduzindo assim a busca pela utilização de recursos naturais.

Outro problema encontrado que envolve a engenharia é a falta de resistência dos solos. Em muitos casos, os solos são de baixa capacidade de suporte e de alta deformabilidade, tornando-se inviável o projeto de fundações superficiais. A solução geralmente empregada para esse tipo de problema são as fundações profundas, porém, nem sempre é uma técnica viável e econômica. Uma alternativa para esse problema seria modificar as propriedades geotécnicas do solo, criando um novo material com maior capacidade de suporte e menores deformações. Uma das técnicas utilizadas para essa alternativa é a estabilização granulométrica dos solos, através da aplicação de agregados, alterando as características granulométricas (solo-brita).

A estabilização de solos é uma técnica antiga desenvolvida principalmente para pavimentação,

porém, tal conjunto de processos tem sido largamente utilizado, não somente na área de pavimentos, mas em diversas outras áreas, como fundações, contenção de taludes e barragens [19].

O presente estudo busca avaliar tecnicamente a possibilidade da utilização de resíduos da construção e demolição (RCD) em solo reforçado, visando a sua aplicação como base de fundações superficiais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Resíduo de Construção e Demolição (RCD)

O resíduo utilizado no presente estudo foi preparado em laboratório, tendo como constituintes agregados provenientes de material cerâmico e de material argamassado. O resíduo confeccionado é apresentado na figura 1.



Figura 1 – Resíduo confeccionado em laboratório (material cerâmico e argamassado)

O beneficiamento foi realizado no laboratório do Centro Tecnológico de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo – CETEC/UPF. A amostra britada resultante teve o seu diâmetro máximo passante na peneira 25 mm.

Foi definida a composição do resíduo em 50% de material cerâmico e 50% de material argamassado. O resíduo com essa composição é apresentado na figura 2.



Figura 2 – Resíduo com 50% de material cerâmico e 50% de material argamassado

Foram realizados ensaios para caracterizar o resíduo. A composição granulométrica do material, como mostra a figura 3, foi obtida de acordo com a norma NBR NM 248 [7].

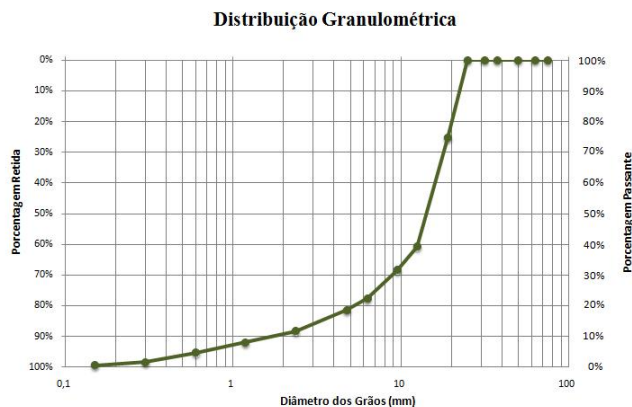


Figura 3 – Composição granulométrica do RCD

Outras características do resíduo foram obtidas: massa específica real, aparente e a absorção do agregado graúdo (1,70 g/cm³; 2,60 g/cm³ e 20,5%) e massa específica real do agregado miúdo (2,29 g/cm³). As normas utilizadas para os ensaios foram: NBR NM 53 [8] e a NBR 9776 [4].

2.2 Solo Residual de Basalto

Foi utilizado para os ensaios de laboratório e de campo o solo residual de basalto do campo experimental de Geotecnia do CETEC da Universidade de Passo Fundo – UPF. As principais características do solo são apresentadas na tabela 1, de acordo com Meneghetti [11].

Tabela 1 – Características físicas do solo residual de basalto

Parâmetros do solo	Valores
Umidade Natural (%)	34
Peso Específico Real (kN/m ³)	26,7
Peso Específico Natural (kN/m ³)	16,3
Limite de Liquidez (%)	53
Limite de Plasticidade (%)	42
Índice de Plasticidade (%)	11
Índice de Vazios	1,19
Grau de Saturação (%)	75,7
Porosidade (%)	54
Permeabilidade (cm/s)	1,39 x 10 ⁻⁵
Percentual de Argila (%)	68
Percentual de Silte (%)	5
Percentual de Areia (%)	27

Na figura 4 é apresentada a curva granulométrica do solo residual de basalto, obtida por Meneghetti [11].

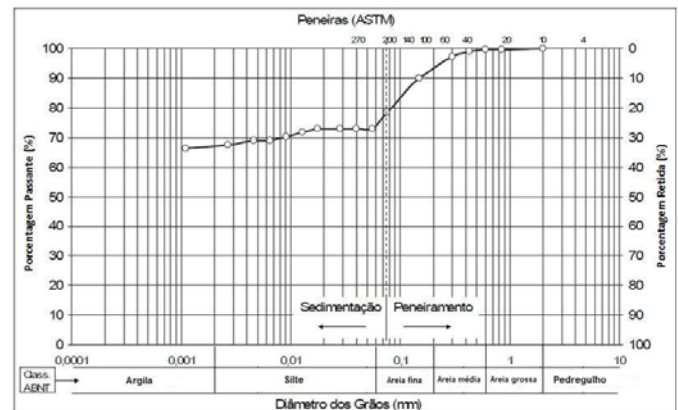


Figura 4 – Curva granulométrica do solo residual de basalto

2.3 Etapa de Laboratório

Na etapa de laboratório, foram realizados ensaios de compactação e de índice de suporte Califórnia (CBR) com 3 misturas com diferentes teores de RCD e de solo: a primeira mistura com 25% de RCD e 75% de solo; a segunda com 50% de RCD e 50% de solo; e a terceira com 75% de RCD e 25% de solo. O solo utilizado encontrava-se na umidade higroscópica. Também foram realizados os mesmos ensaios somente com o solo natural.

A composição granulométrica das misturas de solo-RCD, como mostra a figura 5, foi determinada de acordo com a norma NBR 7181 [2].

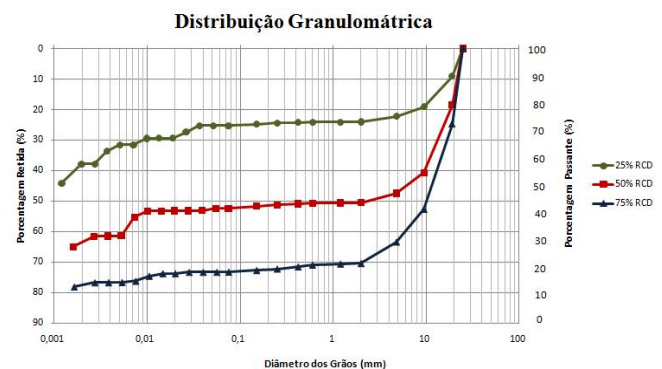


Figura 5 – Composição granulométrica das misturas

Os ensaios de compactação e de índice de suporte Califórnia (CBR) foram realizados de acordo com as normas NBR 7182 [3] e NBR 9895 [5].

As misturas de solo-RCD estão apresentadas nas figuras 6, 7 e 8.



Figura 6 – mistura com 25% de RCD e 75% de solo



Figura 7 – mistura com 50% de RCD e 50% de solo



Figura 8 – mistura com 75% de RCD e 50% de solo

No presente trabalho optou-se por trabalhar com energia normal de compactação. Assim, foram obtidas as densidades máximas e as umidades ótimas das 3 misturas e também do solo natural. Após a obtenção dessas densidades e umidades, foi realizado o ensaio para a determinação do índice de suporte Califórnia das 3 misturas e do solo natural, para verificar qual a que apresenta o melhor resultado, ou seja, a melhor resistência. Também foi realizado junto com o ensaio CBR, a verificação da expansão de cada mistura e do solo.

A execução do ensaio CBR pode ser visto na figura 9.



Figura 9 – Execução do ensaio CBR

2.4 Etapa de Campo

Na etapa de campo, foram realizados 2 ensaios de placa, um sobre o solo natural e outro sobre uma camada compactada de solo-RCD. A dosagem dos materiais que constituíram a camada foi obtida através dos resultados dos ensaios de laboratório, como visto anteriormente. Os ensaios foram realizados no terreno do campo experimental do CETEC na UPF.

Para a realização dos ensaios, foi necessário a abertura de uma vala, com o objetivo de simular a cota da base de uma fundação superficial.

A vala apresentou as seguintes dimensões: 0,90 m de largura, 1,8 m de comprimento e 0,80 m de profundidade. A camada compactada de solo-RCD teve como dimensões: 0,9 m de largura, 0,9 m de comprimento e 0,30 m de espessura. No espaço restante da vala (0,9 m x 0,9 m) foi realizado o ensaio sobre o solo natural.

A placa utilizada nos ensaios possui um diâmetro de 30 cm.

O posicionamento das placas e as dimensões descritas acima podem ser vistas nas figuras 10 e 11.

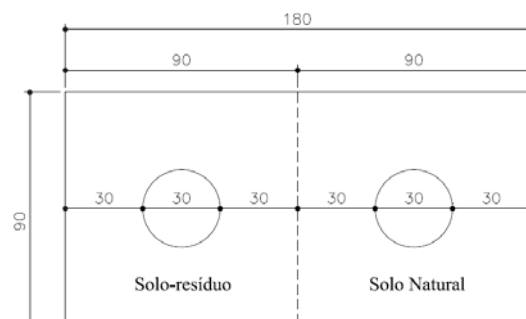


Figura 10 – Posicionamento das placas e dimensões – vista superior (dimensões em cm)



Figura 11 – Posicionamento das placas e dimensões – corte longitudinal (dimensões em cm)

A figura 12 mostra a vala escavada: a parte mais profunda foi destinada à camada compactada de solo-RCD, sendo a outra parte restante utilizada para o ensaio sobre o solo natural.



Figura 12 – Vala escavada para realização dos ensaios (parte mais profunda destinada à camada compactada de solo-RCD)

A mistura dos materiais da camada de solo-RCD foi feita em uma betoneira, como mostra a figura 13. A compactação foi realizada em duas camadas com espessura de 15 cm. Um compactador manual foi utilizado para a compactação.

O controle da compactação foi realizado pela altura da camada.



Figura 13 – Mistura do material da camada de solo-RCD

A camada de solo-RCD compactada é apresentada na figura 14.



Figura 14 – Camada de solo-RCD compactada

Antes da execução dos ensaios de placa, foi feita a previsão da carga de ruptura do solo-RCD e no solo natural. Para a camada de solo-RCD, foi utilizado método semi-empírico desenvolvido por Thomé [18]. Esse método considera uma fundação apoiada sobre um sistema de dupla camada, sendo a superior cimentada. Considera também o recalque crítico para a definição da carga de ruptura, o valor de 2% da largura da fundação. No presente trabalho, como a placa utilizada apresenta um diâmetro de 30 cm, o recalque crítico adotado foi de 2% deste valor, ou seja, 6 mm.

Para se obter a carga de ruptura por esse método, foi necessário utilizar o ábaco desenvolvido por Thomé, onde encontram-se curvas para 3 relações H/D (onde H é a espessura da camada e D o diâmetro da placa). No presente trabalho, a relação H/D é igual a 1.

Para determinar a capacidade de carga ($q_{u2\%}$), foi necessário também a obtenção de um fator F, determinado a partir de parâmetros estimados.

O ábaco com as curvas e a fórmula para a obtenção do fator F é apresentado na figura 15.

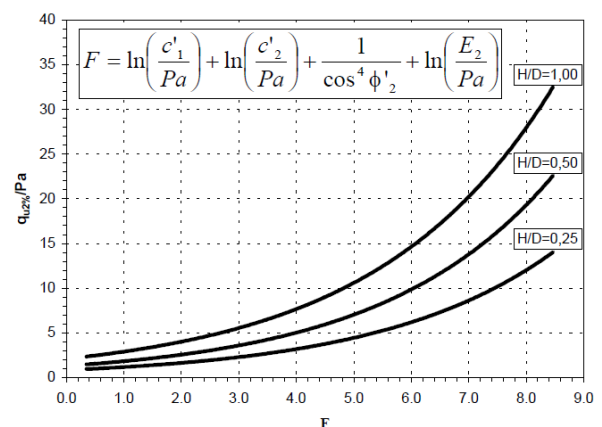


Figura 15 – Ábaco para a obtenção da carga de ruptura de fundações apoiadas em sistema de dupla camada

Os parâmetros estimados para a obtenção da capacidade de carga ($q_{u2\%}$) da camada de solo-RCD estão especificados na tabela 2, onde c_1' é a

coesão estimada para a camada de solo-RCD; c_2' e ϕ_2' são respectivamente a coesão e o ângulo de atrito do solo residual de basalto; E_2 é o módulo de elasticidade do solo residual de basalto; e P_a é a pressão atmosférica.

Tabela 2 – Parâmetros para a obtenção da capacidade de carga

Parâmetros - Capacidade de Carga: Solo-RCD		
c_1'	25	kN/m ²
c_2'	10	kN/m ²
ϕ_2'	24	Graus
E_2	45000	kN/m ²
P_a	100	kN/m ²

Considerando todos esses parâmetros, obteve-se para a camada de solo-RCD uma carga de ruptura igual a 5,2 toneladas, utilizando-se placa com 30 cm de diâmetro.

A previsão da carga de ruptura do solo residual de basalto foi realizada baseando-se em dados estabelecidos pela norma NBR 6122 [6]. Considerando o solo como uma argila média, a capacidade de carga apresenta um valor igual 100 kN/m². Portanto, adotando-se este valor como tensão admissível, obteve-se uma carga de ruptura em torno de 1 tonelada, utilizando-se placa com 30 cm de diâmetro.

Depois de previstas as cargas de rupturas, foram realizados os ensaios de placa, de acordo com a norma NBR 6489 [1].

A execução de cada ensaio de placa foi dividida em fases: instalação do sistema de reação, preparação dos equipamentos para o ensaio e aplicação do carregamento.

O sistema de reação utilizado está representado na figura 16. Os extensômetros instalados para a determinação dos recalques da placa estão representados na figura 17.



Figura 16 – Sistema de reação utilizado



Figura 17 – Placa e extensômetros instalados

No presente estudo, foram utilizados incrementos de carga 10% da carga prevista, tanto no ensaio sobre a camada de solo-RCD, como sobre o solo natural. Um novo incremento de carga só era realizado após ser verificada a estabilização dos recalques, com tolerância máxima de 5% do recalque total deste incremento entre leituras sucessivas. Durante os ensaios verificou-se que a estabilização dos deslocamentos ocorria rapidamente, principalmente nos primeiros incrementos de carga.

A execução do ensaio de placa está representada na figura 18.



Figura 18 – Execução do ensaio de placa

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 Etapa de Laboratório

3.1.1 Ensaio de Compactação

Através do ensaio de compactação, foram obtidos os pesos específicos aparentes secos e os teores de umidade de cada mistura e do solo. Estes estão representados nas tabelas 3, 4, 5 e 6.

Tabela 3 – Pesos específicos aparentes secos e teores de umidade: Solo

Compactação: Solo	
Peso Esp. Apar. Seco (kg/m ³)	Teor de Umidade (%)
1353,37	23,76
1417,22	36,63
1386,76	30,85
1319,92	34,45

Tabela 4 – Pesos específicos aparentes secos e teores de umidade: Mistura com 25% de RCD e 75% de Solo

Compactação: 25% RCD - 75% Solo	
Peso Esp. Apar. Seco (kg/m ³)	Teor de Umidade (%)
1256,50	17,88
1389,80	22,18
1464,15	26,29
1407,68	29,34
1356,84	32,80

Tabela 5 – Pesos específicos aparentes secos e teores de umidade: Mistura com 50% de RCD e 50% de Solo

Compactação: 50% RCD - 50% Solo	
Peso Esp. Apar. Seco (kg/m ³)	Teor de Umidade (%)
1356,95	16,10
1390,28	19,43
1451,39	22,20
1470,04	25,14
1398,67	33,55

Tabela 6 – Pesos específicos aparentes secos e teores de umidade: Mistura com 75% de RCD e 25% de Solo

Compactação: 75% RCD - 25% Solo	
Peso Esp. Apar. Seco (kg/m ³)	Teor de Umidade (%)
1337,14	15,71
1372,61	17,53
1503,83	23,58
1452,46	31,20

Foram traçadas as curvas que representam os pesos específicos aparentes secos e as umidades. Estas estão apresentadas na figura 19.

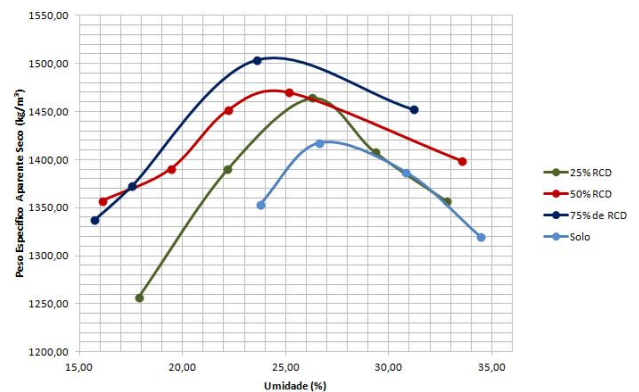


Figura 19 – Curvas resultantes do ensaio de compactação

As três misturas ensaiadas, com os seus respectivos teores de resíduo (25%, 50% e 75%), apresentaram como resultados os pesos específicos aparentes secos máximos e umidades ótimas que estão representados na tabela 7.

Tabela 7 – Resultados obtidos no ensaio de compactação

Mistura	Peso Específico Aparente Seco Máximo (kg/m ³)	Umidade ótica (%)
25% RCD - 75% Solo	1465	26,4
50% RCD - 50% Solo	1472	24,5
75% RCD - 25% Solo	1506	24,4

O solo ensaiado apresentou um peso específico aparente seco máximo com o valor igual a 1419 kg/m³, e um teor de umidade ótica de 27,2%.

Com os valores de pesos específicos aparentes secos máximos e umidades ótimas obtidas, foram plotados gráficos onde esses valores são apresentados em função da porcentagem de resíduo das misturas. Os gráficos são apresentados nas figuras 20 e 21.

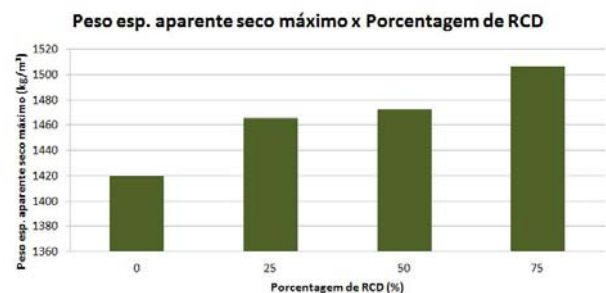


Figura 20 – Peso Específico Aparente Seco Máximo x Porcentagem de RCD

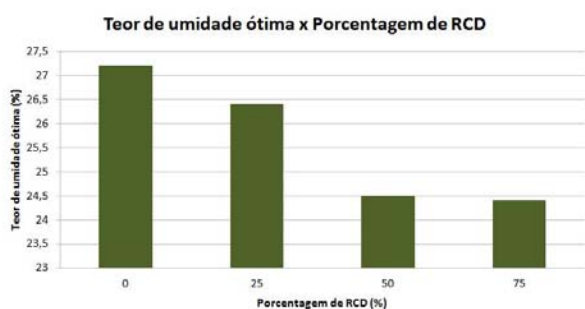


Figura 21 – Teor de Umidade Ótima x Porcentagem de RCD

Analisando os resultados apresentados, percebe-se um aumento do peso específico aparente seco máximo com o aumento do teor de resíduo na mistura.

Nota-se também que na medida em que se aumenta o teor de resíduo na mistura, a umidade ótima tende a diminuir.

3.1.2 Ensaio CBR

Após serem realizados os ensaios para a determinação do índice de suporte Califórnia, tanto das misturas quanto do solo, foram obtidos os valores de pressão para cada valor de penetração. Estes valores estão representados nas tabelas 8, 9, 10 e 11.

Tabela 8 – Pressão x Penetração: Solo

Valores obtidos de Pressão e Penetração - Solo	
Penetração (mm)	Pressão (kgf/cm ²)
0	0
0,63	2,33
1,27	3,89
1,9	5,06
2,54	5,84
3,81	7,26
5,08	8,43
7,62	10,25
10,16	12,06
12,7	13,62

Tabela 9 – Pressão x Penetração: Mistura com 25% de RCD e 75% de Solo

Valores obtidos de Pressão e Penetração – 25% RCD e 75% Solo	
Penetração (mm)	Pressão (kgf/cm ²)
0	0
0,63	5,71
1,27	8,43
1,9	9,99
2,54	10,77
3,81	12,06
5,08	12,84
7,62	14,40
10,16	15,69
12,7	16,86

Tabela 10 – Pressão x Penetração: Mistura com 50% de RCD e 50% de Solo

Valores obtidos de Pressão e Penetração – 50% RCD e 50% Solo	
Penetração (mm)	Pressão (kgf/cm ²)
0	0
0,63	5,58
1,27	10,25
1,9	13,23
2,54	16,73
3,81	20,36
5,08	23,09
7,62	27,24
10,16	3,13
12,7	34,63

Tabela 11 – Pressão x Penetração: Mistura com 75% de RCD e 25% de Solo

Valores obtidos de Pressão e Penetração – 75% RCD e 25% Solo	
Penetração (mm)	Pressão (kgf/cm ²)
0	0
0,63	3,63
1,27	7,26
1,9	10,51
2,54	13,75
3,81	18,55
5,08	22,96
7,62	31,00
10,16	37,74
12,7	44,23

Com os resultados obtidos foram traçadas as curvas pressão x penetração, que estão representadas na figura 22.

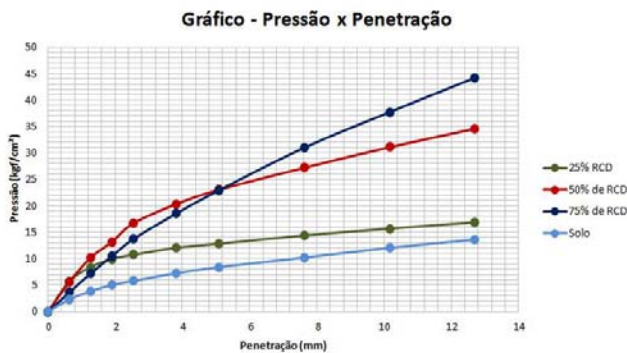


Figura 22 – Gráfico Pressão x Penetração

Através das pressões obtidas para cada penetração, foi possível determinar o valor de CBR para cada mistura com seus teores de resíduos. Os resultados do CBR obtidos das misturas com 25%, 50% e 75% são apresentados na tabela 12.

Tabela 12 – Resultados obtidos no ensaio CBR

Mistura	CBR (%)
25% RCD - 75% Solo	15
50% RCD - 50% Solo	24
75% RCD - 25% Solo	22

O solo apresentou como resultado de CBR um valor igual a 8%.

Para cada mistura, também foram obtidos os valores de expansão. Os resultados podem ser vistos na tabela 13.

Tabela 13 – Resultados obtidos no ensaio de expansão

Mistura	Expansão (%)
25% RCD - 75% Solo	0,16
50% RCD - 50% Solo	0,15
75% RCD - 25% Solo	0,04

O resultado obtido da expansão do solo sem resíduo foi de 0,16 %, o mesmo valor da mistura com 25% de RCD e 75% de solo.

Com todos os resultados obtidos de CBR e também de expansão, foram plotados dois gráficos, os quais mostram os valores de CBR e da expansão em função da porcentagem de resíduo das misturas, apresentados nas figuras 23 e 24.

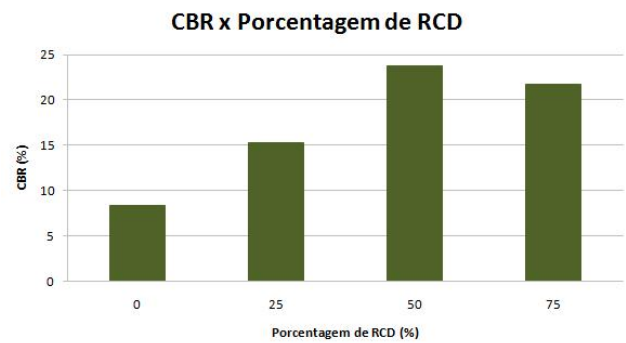


Figura 23 – CBR x Porcentagem de RCD

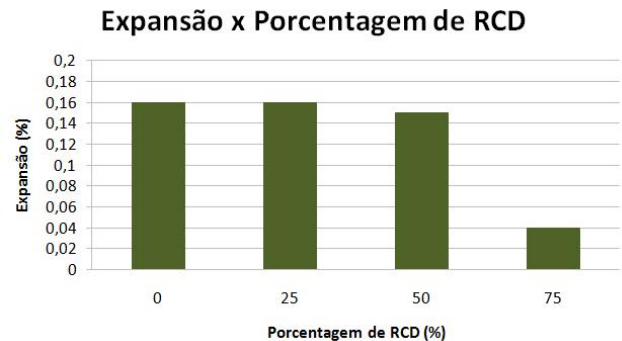


Figura 24 – Expansão x Porcentagem de RCD

Analisando os resultados apresentados, nota-se que houve um aumento no valor de CBR com o acréscimo de resíduo, porém na amostra que apresenta 75% de RCD, o valor obtido apresentou uma leve queda. Esta amostra, quando comparada com as outras, apresentou, visualmente, baixa consistência e coesão.

Com relação aos resultados de expansão, percebe-se que as misturas com teores de RCD iguais a 0%, 25% e 50% apresentam valores praticamente iguais, devido à porcentagem alta de solo contida nessas misturas. Já o valor da expansão obtido para o teor de 75% de RCD apresentou uma queda devido à mistura apresentar menor quantidade de solo.

Em termos de resistência, a mistura que apresentou o melhor resultado de capacidade de suporte foi a que possui 50% de RCD e 50% de solo, sendo essa a dosagem utilizada na camada de solo-RCD para o ensaio de placa.

3.2 Etapa de Campo

Através dos ensaios de placa realizados sobre o solo-RCD e sobre o solo natural, foram obtidos os recalques para cada carga aplicada. Os valores obtidos estão representados nas tabelas 14 e 15.

Tabela 14 – Recalques e cargas aplicadas: Solo Natural

Valores de recalque e carga aplicada - Solo Natural	
Recalque (mm)	Carga (kN)
0	0
0,18	1,55
0,28	2,15
0,58	3,15
1,01	4,12
1,46	5,15
2,06	6,15
2,58	7,16
2,98	8,12
3,63	9,13
4,13	10,2
4,88	11,1
5,7	12,37
6,81	13,22
7,64	14,11
9,66	15,23
11,14	16,09
12,52	17,31
17,08	19,38
24,31	22,04
33,53	24,65

Tabela 15 – Recalques e cargas aplicadas: Solo-RCD

Valores de recalque e carga aplicada - Solo-RCD	
Recalque (mm)	Carga (kN)
0	0
0,23	5,05
0,63	10,11
1,15	15,03
1,87	20,01
3,03	25,05
4,56	30,05
7,07	35,00
11,26	40,38
15,2	45,22
31,68	50,22

Com estes resultados, foram traçadas as curvas carga x recalque, apresentadas na figura 25.

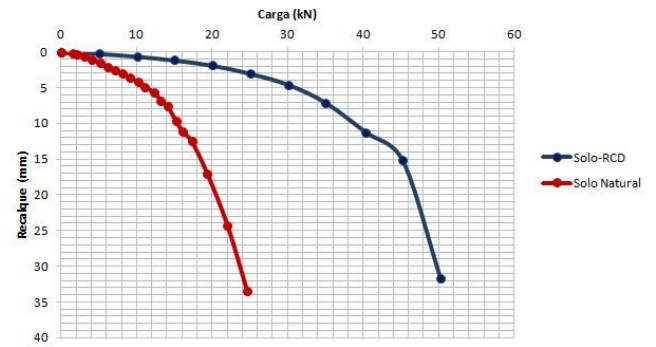


Figura 25 – Curvas carga x recalque obtidas dos ensaios de placa

Durante a execução do ensaio realizado sobre o solo-RCD, foram verificadas fissuras antes que ocorresse a ruptura. A ruptura observada foi do tipo localizada, pois não apresentou um valor de pico e não apresentou características de uma ruptura catastrófica.

Já o solo natural apresentou uma ruptura por puncionamento, pelo fato da placa só afundar, não ocorrendo nenhuma fissura.

As rupturas podem ser observadas nas figuras 26 e 27.



Figura 26 – Solo-RCD – ruptura localizada



Figura 27 – Solo natural – ruptura por puncionamento

Analisando as curvas carga x recalque geradas, nota-se que a ruptura física ocorreu, no solo-RCD, com uma carga de 50,22 kN, e no solo natural, com uma carga de 25 kN.

Como o método utilizado na previsão da carga de ruptura considera um recalque crítico de 6 mm (2% do diâmetro da placa), obteve-se através das

curvas carga x recalque do solo-RCD e do solo natural, os valores de carga igual a 33 kN e 12,5 kN respectivamente.

Esses valores obtidos e os valores das cargas de ruptura previstas são apresentados na tabela 6.

Tabela 6 – Cargas de ruptura previstas e obtidas

Cargas de Ruptura		
Material	Carga Prevista (kN)	Carga Obtida (kN)
Solo Natural	10	12,5
Solo-RCD	52	33

Através da tabela, observa-se que a carga de ruptura obtida no ensaio realizado sobre o solo natural foi maior que a carga prevista. Já no ensaio realizado sobre a camada de solo-RCD, a carga de ruptura obtida foi menor que a carga prevista, utilizando o método elaborado por Thomé [18].

Analisando estes valores obtidos de carga de ruptura, observa-se que com a adição de resíduo de construção e demolição em um solo residual de basalto, mais a sua compactação, houve um aumento de 264% da capacidade de carga ($q_{u2\%}$) obtida para um recalque crítico de 6 mm. Isso mostra que com a utilização deste material como reforço de um solo residual de basalto, há uma diminuição dos recalques, quando aplicado em fundações superficiais, lembrando que a camada de solo-RCD foi compactada e o solo natural não.

Com os resultados obtidos, também foi possível achar os módulos de elasticidade do solo-RCD e do solo natural, através da equação elaborada por Quaresma et.al [14]:

$$E = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{qd}{s} \cdot (1 - \nu^2)$$

Utilizando-se o coeficiente de Poisson igual a 0,3 para ambos os materiais, sendo esse valor obtido por Teixeira & Godoy [17] para uma argila não saturada, obtiveram-se as curvas apresentadas na figura 28.

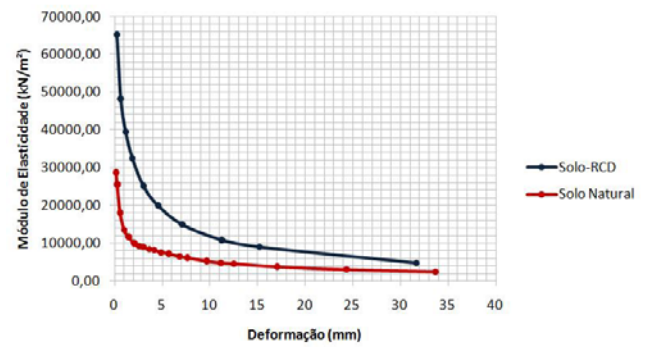


Figura 28 – Módulos de Elasticidade x Deformação

Analisando as curvas, percebe-se que os valores dos módulos de elasticidade do solo-RCD e do solo natural diminuem com o aumento da deformação. Nota-se também que os módulos do solo-RCD são maiores que os do solo natural para uma mesma deformação.

4. CONCLUSÕES

O estudo apresentou uma pesquisa realizada através de ensaios de laboratório e de campo, onde foi possível avaliar a técnica da utilização de RCD como reforço de um solo residual de basalto, servindo como base de fundações superficiais.

Através do ensaio de compactação, verificou-se que os valores de densidade máxima crescem com o aumento do teor de RCD, devido a sua massa específica ser maior que a do solo. Já a umidade ótima diminui com o acréscimo de RCD pelo fato de sua superfície específica ser bem menor que a do solo.

Com relação à quantidade ótima de RCD, percebeu-se que a mistura com 50% de resíduo de construção e demolição e 50% de solo apresentou a melhor capacidade de suporte, com um valor de CBR e expansão igual a 24% e 0,15% respectivamente.

Observou-se também que uma camada de solo-RCD compactada aplicada como base de fundação superficial aumenta em 264% a capacidade de carga, considerando um recalque crítico igual a 2% da largura da fundação. Notou-se também que a ruptura do solo-RCD foi localizada, enquanto a do solo foi por puncionamento. Os módulos de elasticidade obtidos para o solo-RCD são maiores que os do solo natural, sendo que eles diminuem com o aumento da deformação.

Com isso, pode-se concluir que a utilização do resíduo de construção e demolição como reforço

de um solo residual de basalto torna-se uma técnica viável quando aplicada como base de fundações superficiais, aumentando a capacidade de suporte e reduzindo os recalques.

REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6489: Prova de carga direta sobre terreno de fundação*. Rio de Janeiro, 1984.
2. _____. *NBR 7181: Solo – Análise Granulométrica*. Rio de Janeiro. 1984.
3. _____. *NBR 7182: Solo – Ensaio de Compactação*. Rio de Janeiro. 1986.
4. _____. *NBR 9776: Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio de frasco Chapman*. Rio de Janeiro. 1987.
5. _____. *NBR 9895: Solo – Índice de Suporte Califórnia*. Rio de Janeiro. 1987.
6. _____. *NBR 6122: Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro. 1996.
7. _____. *NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro. 2003.
8. _____. *NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água*. Rio de Janeiro. 2003.
9. JOHN V. M.; AGOPYAN, V. *Reciclagem de resíduos da construção*. 2003. In: Seminário Reciclagem de Resíduos Domiciliares, São Paulo, 2003.
Disponível em:
<<http://www.recycle.pcc.usp.br/artigos1.htm>>.
Acesso em: 27 junho 2010
10. LUCENA, L. F. L. et.al. *Diagnóstico da geração de resíduos da construção civil no Município de Campina Grande*. In: Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, 4., Encontro Latino-americano de Gestão e Economia da Construção, 1., Porto Alegre. Anais... Porto Alegre, 2005.
11. MENEGHETTI, L. R. R.. *Biorremediação na descontaminação de um solo residual de basalto contaminado com óleo diesel e biodiesel*. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Programa de Pós Graduação em Engenharia – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2007.
12. PASQUALOTTO FILHO, R. P.; CHIAVINI, P. P. R.; CIMINO, R. J. P.; GUIMARÃES, S. A. V. *Gestão de resíduos da construção civil e demolição no município de São Paulo e normas existentes*. Revista Técnica IPEP, São Paulo, SP, v. 7, n. 1, p. 73-78, jan./jun. 2007.
Disponível em:
<http://www.ipep.edu.br/site/publicacoes_revista_ipep.php>.
Acesso em: 14 junho 2010.
13. PINTO, T. P. *Metodologia para gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana*. 1999. Tese (Doutorado). Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
14. QUARESMA, A. R.; DÉCOURT, L.; QUARESMA FILHO, A. R.; ALMEIDA, M. S. S.; DANZIGER, F. *Investigações Geotécnicas*. In: *Fundações: Teoria e Prática*. 2. ed. São Paulo: Pini/ABMS/ABEF, 1998. cap. 3, p. 119-162.
15. SCHNEIDER, D. M. *Deposições irregulares de resíduos da construção civil na cidade de São Paulo*. 2003. Dissertação (mestrado) - Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
16. SPRINGER JUNIOR, H. *Contribuição ao estudo dos revestimentos argamassados externos em substratos de concreto com vistas à minimização da geração de resíduos*. 2008. Dissertação (mestrado em Qualidade Ambiental) – Centro Universitário Feevale, Novo Hamburgo, 2008.
17. TEIXEIRA, A. H; GODOY, N. S. de. *Análise, projeto e execução de fundações rasas*. In: *Fundações: Teoria e prática*. 2. ed. São Paulo: Pini/ABMS/ABEF, 1998. cap. 7, p. 227-264.
18. THOMÉ, A. *Comportamento de fundações superficiais apoiadas em aterros estabilizados com resíduos industriais*. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.
19. VENDRUSCOLO, M. A. *Análise numérica e experimental do comportamento de fundações superficiais assentes em solo melhorado*. 1996. Dissertação (mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.