



Estabilização de Solo Expansivo com Material Escalpado de Resíduos de Construção Civil

Philippe de Moraes Stankevicius

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, stankevicius@usp.br

Bruna Nuncio Benevides

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo Brasil, bruna.nuncio.benevides@usp.br

Sérgio Cirelli Angulo

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo Brasil, sergio.angulo@lme.pcc.usp.br

Maria Eugenia Gimenez Boscov

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, meboscov@usp.br

RESUMO: Este artigo mostra uma investigação centrada na utilização da fração fina de resíduos da construção civil (RCC) para conter a expansão de um solo. Primeiro, desenvolveu-se um método de coleta para garantir a representatividade das amostras de RCC. A seguir, coletaram-se amostras de um solo da Bacia Sedimentar de São Paulo durante a escavação de um túnel para fins sanitários. Os materiais foram caracterizados geotecnicamente. A pressão de expansão e expansão livre do solo e de misturas solo-RCC foram medidas por ensaios de expansão em células edométricas pelo método de inibição de expansão. Os resultados mostraram uma alternativa para a reutilização dos resíduos.

PALAVRAS-CHAVE: Reuso de resíduos, Solo expansivo, Resíduo de construção civil, Ensaio de expansão.

1 INTRODUÇÃO

A palavra chave que define o mundo atual é sustentabilidade. A indústria da construção civil é a principal consumidora de recursos naturais e maior geradora de resíduos sólidos (John 2000), logo é impossível existir desenvolvimento sustentável sem significativa mudança na cadeia produtiva da engenharia civil.

Diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas visando o reaproveitamento dos resíduos sólidos da construção civil (RCC). A indústria da construção é responsável pela geração de pelo menos 50% da massa de resíduos sólidos urbanos em diversos países (Kataguiri 2017), valor possivelmente subestimado, uma vez que existem atividades informais de construção e a

disposição irregular de resíduos (Angulo 2005). Grandes quantidades de solos de escavação são geradas nas áreas urbanas em obras de infraestrutura (Hashimoto et al. 2007), sendo esse material incluído recentemente na categoria de RCC (Monier et al. 2011).

Atualmente, durante o processo de reciclagem de RCC, a maior parte de material produzido é de agregado reciclado fino (<4,8mm) (Ulsen et al. 2013), contudo a fração graúda do material é a mais utilizada, já sendo regulamentada para reforço de subleito, sub-base e base de pavimentação e para concreto sem função estrutural. Para a fração fina, contudo, faltam estratégias de uso (Magnusson et al. 2015). A utilização dos RCC como agregado reciclado ainda não está consolidada



em diversos países, principalmente a fração fina (Quattrone et al. 2014).

Estudando a fração fina de RCC reciclado, Nomachi e Boscov (2016) obtiveram material com mini-CBR após imersão não confinada igual a 18%, expansão nula, coesão nula e ângulo de atrito de 38°, indicando um material com potencial interesse geotécnico.

Santos (2007) e Kataguirí (2017) mostraram que existe material cimentício em todas as frações de RCC. Esse material cimentício pode resultar em ganho imediato de resistência de solos, como notado por Sharma e Hymavathi (2016) para uma argila de alta compressibilidade misturada com RCC, e com a cura, como obtido por Amorim (2013) para misturas de solo laterítico com 25% de RCC.

Esse artigo mostra os resultados de uma investigação centrada na utilização da fração final de RCC para conter a expansão de solos. Primeiro, um método de amostragem foi desenvolvido para garantir a representatividade de amostras de RCC. Em seguida, um solo da Bacia Sedimentar de São Paulo, composto de argilominerais expansivos, foi coletado durante a escavação de um túnel para fins sanitários. Os materiais foram submetidos a caracterização química, mineralógica e geotécnica. A pressão de expansão e a expansão livre do solo e misturas solo-RCC foram determinadas por ensaio de expansão em célula edométrica pelo método de inibição de expansão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RCC

2.1.1 Panorama no Brasil e no Mundo

Dados do SindusCon-SP de 2012 estimam uma geração de RCC variando de 0,4 a 0,7 toneladas por habitante ao ano no Brasil, representando dois terços da massa de resíduos sólidos municipais (Silva, Martins e Oliveira 2016), dos quais apenas 3% são reciclados. Em 2018, em

uma audiência pública na Câmara dos Deputados, representantes do setor da construção civil pediram medidas para aumentar o percentual de reciclagem no país (Bertolini 2018).

A tabela 1 mostra a estimativa da geração de RCC para diversos países. A variação nos valores dos resíduos gerados pode ser decorrente em parte do fato de alguns autores incluírem e outros excluírem os solos escavados como resíduo. A tabela foi proposta por John (2000) antes da publicação da Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) sobre a gestão dos RCC.

Tabela 1. Geração de RCC em diversos países

PAÍS	QUANTIDADE ANUAL	
	Mton/ano	kg/hab.
Suécia	1,2 - 6	136 - 680
Holanda	12,8 - 20,2	820 - 1300
EUA	136 - 171	463 - 584
UK	50 - 70	880 - 1120
Bélgica	7,5 - 10,7	735 - 3359
Dinamarca	2,3 - 10,7	440 - 2010
Itália	35 - 40	600 - 690
Alemanha	79 - 300	963 - 3658
Japão	99	785
Portugal	3,2	325
Brasil	*	230 - 660

*. Inexistência de dados estatísticos, apenas algumas cidades. Fonte: John, 2000 (modificado).

2.1.2 Composição

Para Pinto (1999), a perda numa construção empresarial varia de 20% a 30% da massa total do material utilizado, gerando os RCC. Santos (2007) caracteriza o canteiro de obras como um ambiente dinâmico sujeito a constante modificação em função do cronograma, onde diversas atividades são realizadas concomitantemente e com diversas tecnologias, o que contribui para que os RCC apresentem uma composição variada e heterogênea.



A tabela 2 mostra as principais fontes e causas da ocorrência de resíduos da construção.

Tabela 2 – Fontes dos RCC e suas causas.

FONTES	CAUSA
Projeto	Erro nos contratos
	Contratos incompletos
	Modificações de projeto
Intervenção	Ordens erradas, ausência ou excesso de ordens
	Erros no fornecimento
Manipulação de materiais	Danos durante o transporte
	Estoque inapropriado
Operação	Erros de operário
	Mau funcionamento de equipamentos
	Ambiente impróprio
	Dano causado por trabalhos anteriores e posteriores
	Uso de materiais incorretos em substituições
	Sobras de cortes
	Sobras de dosagens
Resíduos do processo de aplicação	
Outros	Vandalismo e roubo
	Falta de controle de materiais e de gerenciamento de resíduos

Fonte: Angulo, 2000.

2.1.3 Utilização e contaminação do RCC

A resolução 307 do CONAMA (atualizada posteriormente por outras resoluções) classifica os resíduos da construção de acordo com sua reutilização e contaminação da seguinte forma: “Classe A – são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados; Classe B – são os resíduos recicláveis para outras destinações; Classe C – são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; Classe D – são resíduos perigosos oriundos do processo de construção”.

Os resíduos classe A representam a maior fração dos resíduos gerados na construção e demolição civil (Angulo et al., 2004 *apud* Santos 2007).

Segundo Angulo (2005), algumas usinas de reciclagem no Brasil dividem a fração mineral do RCC em dois grupos: cinza, visualmente com predominância de componentes de construção de natureza cimentícia, e vermelho, visualmente com predominância de componentes de natureza cerâmica.

2.2 Solo (Taguá)

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) geologicamente é formada por três grandes compartimentos: embasamento pré-cambriano, sedimentos paleógenos a neógenos e coberturas quaternárias.

O complexo Embu, unidade com maior ocorrência no embasamento da região centro-sul da RMSP, é formado por xistos, filitos, migmatitos, gnaisses migmatizados e corpos lenticulares de quartzitos, enquanto os grupos São Roque e Serra do Itaberaba (região norte) são constituídos por filitos, metarenitos e quartzitos (Monteiro, Gurgueira e Rocha 2012). Os solos saprolíticos derivados desses materiais são geralmente expansivos, perdendo resistência e tornando-se mais compressíveis quando umedecidos.

Na figura 1 é possível identificar os diversos tipos de solo ocorrentes num trecho da cidade de São Paulo. Os solos superficiais foram submetidos a um processo de laterização, dando origem às argilas vermelhas, que foram parcialmente erodidas e são encontradas apenas nas regiões mais altas da cidade. Abaixo do nível de drenagem ocorrem as argilas duras cinzas-esverdeadas, com tensões de pré-adensamento muito elevadas (muito sobredensadas); e por fim, as areias basais, que preenchem o fundo da bacia. (Massad, 2012).

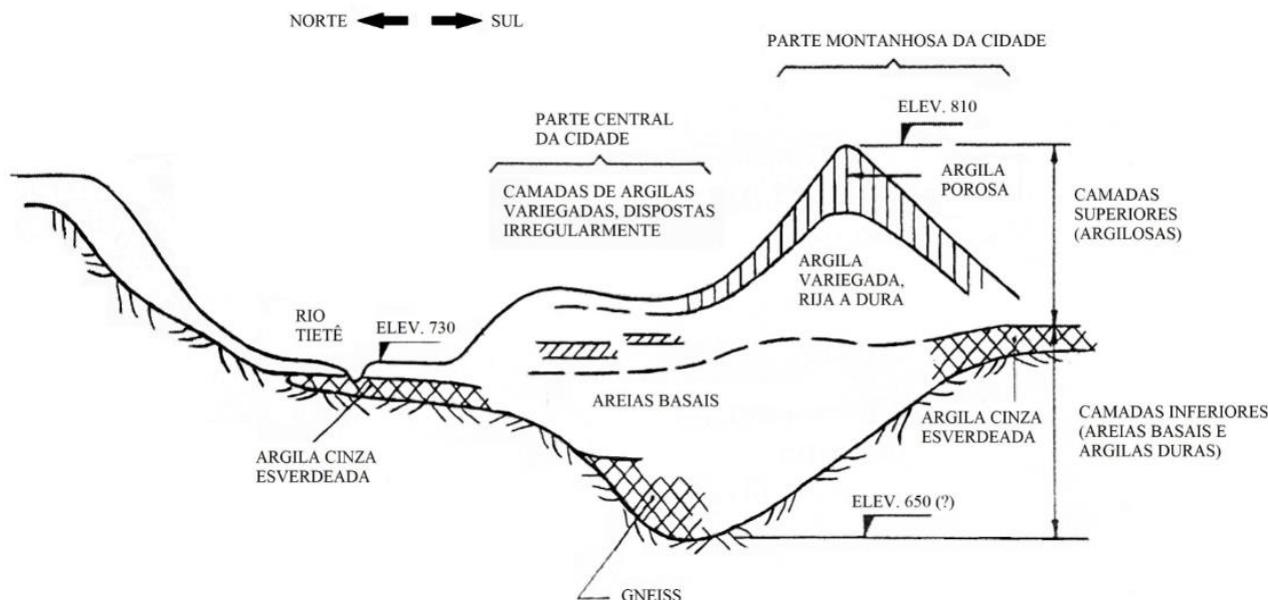


Figura 1. Seção geológica esquemática de trecho da cidade de São Paulo (Marinho, Vargas e Vilar 1998 *apud* Massad 2012).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 RCC

O resíduo de construção foi coletado na usina de reciclagem Multilix, onde o material passa por um processo de triagem, primeiro separado por cores (cinza e vermelho) e posteriormente encaminhado para a Unidade de Triagem Mecanizada (UTM).

No primeiro processo na UTM o material passa por uma peneira giratória com abertura de malha de 11,5 mm, separando 40% do resíduo, que recebe o nome de Areia Reciclada (material passante). A seguir, o material retido passa por separação magnética, sucção e por peneiramento em uma peneira com abertura de malha de 50 mm; o material passado recebe o nome de Brita Reciclada. O processo de triagem termina com a retirada manual de materiais não minerais (madeira, plástico, papelão, etc.); os resíduos de construção remanescentes na esteira recebem o nome de Rachão Reciclado.

Neste estudo foi utilizada a Areia Reciclada. O material foi coletado de forma a garantir representatividade das amostras: na saída da

peneira giratória, o piso foi nivelado e sobre ele estendeu-se uma lona; após 2 minutos de coleta, retirou-se a lona e transferiu-se o material depositado para um saco plástico reforçado dentro de um saco de rafia. Tal procedimento foi realizado 3 vezes ao dia e ao final do dia juntava-se todo o material, compondo uma amostra. Repetiu-se o procedimento três vezes por semana durante um período de 1,5 meses, totalizando 15 amostras com aproximadamente 150 kg de resíduo cinza, 115 kg de resíduo misto (vermelho e cinza) e 20 kg de material misturado (durante o dia a usina ocasionalmente troca o material processado).

3.2 Solo

Estudou-se uma argila expansiva conhecida como Argila-Cinza-Esverdeada ou Taguá. As amostras deformadas foram coletadas durante a escavação de um túnel para fins sanitários na cidade de São Paulo, a aproximadamente 12 metros de profundidade, próximo à margem do Rio Tietê. No laboratório o solo foi seco até a umidade higroscópica e passado na peneira #10 (2,0 mm). Não foram encontrados estudos sobre



amostras deformadas desse material (há estudos com amostras indeformadas, i.e. Faiçal 2012).

3.3 Métodos

A caracterização geotécnica dos materiais seguiu as normas brasileiras. As amostras foram preparadas de acordo com a norma ABNT-NBR 6457/86. A análise granulométrica por peneiramento e sedimentação foi realizada de acordo com a norma ABNT-NBR 7181/84. Os ensaios de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade foram realizados de acordo com as normas ABNT-NBR 6459/84 e ABNT-NBR 7180/84, respectivamente. A determinação da massa específica real dos grãos foi realizada pelo método do picnômetro, conforme ABNT-NBR 6508/84.

Como o objetivo do trabalho é verificar se ocorre estabilização da expansão do solo através dos cimentícios presentes nos resíduos, selecionou-se para o estudo o RCC cinza.

As sete amostras de RCC cinza foram secas ao ar até a umidade higroscópica e quarteadas através de um amostrador tipo Jones. Metade de cada amostra foi reservada como arquivo; o restante teve sua granulometria determinada. Das sete amostras de RCC cinza, selecionaram-se duas que representavam os extremos da curva granulométrica para uma caracterização mais detalhada: determinou-se a densidade real dos grãos pelo método do picnômetro; índice de vazios máximo, conforme norma ABNT-NBR 12004/90 e mínimo, conforme norma ABNT-NBR 12051/91 (normas canceladas em 2015 e sem substituição até o presente momento); e a porosidade nas duas condições. Como os resultados foram muito semelhantes, optou-se por misturar as sete amostras, construindo uma pilha logitudinal de acordo com o método de Chevron (Petersen 2004), procedimento que segundo Angulo e Mueller (2009) traz bons resultados de homogeneização.

A amostra final foi quarteada e misturada ao solo na proporção de 20%, 35%, 50% e 65% em massa seca.

3.3.1 Ensaio de expansão

O ensaio de expansão seguiu recomendações propostas por Stuermer et al. (2008) e Pereira (2004), utilizando a célula de adensamento edométrico para confinar o solo lateralmente e deixar que ele expanda livremente em uma direção. O corpo de prova é compactado de forma estática dentro do anel de adensamento.

Como pretende-se medir a expansão, a célula de adensamento é montada na condição seca; o papel filtro e a pedra porosa são inseridos também secos na célula.

A expansão e a pressão de expansão foram medidas de duas formas:

- (1) mais lenta: satura-se o corpo de prova até estabilização da expansão; a seguir incrementam-se pequenos carregamentos (na ordem de 2,5 kPa a 5 kPa) a cada 2 horas até o corpo de prova voltar à leitura inicial; assim, determinam-se a expansão livre e posteriormente a pressão de expansão;
- (2) mais rápida: através da inibição da expansão: imediatamente após a saturação do corpo de prova, incrementa-se a carga a cada deslocamento vertical de 0,01 mm, impedindo a amostra de expandir, até a estabilização da expansão; depois retira-se a carga e deixa-se o corpo de prova expandir livremente, determinando-se a pressão de expansão e posteriormente a expansão do corpo de prova.

4 RESULTADOS

4.1 Caracterização do RCC

A distribuição granulométrica obtida por peneiramento seco das amostras de RCC cinza representa uma areia mal graduada (figura 2). As amostras com curvas granulométricas extremas foram caracterizadas geotecnicamente (tabela 3). Não foi possível realizar os ensaios de limites de Atterberg, classificando o RCC como não plástico.

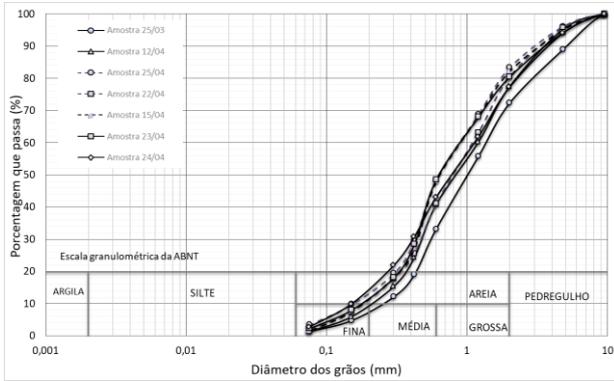


Figura 2. Curva granulométrica das amostras de RCC cinza.

Tabela 3 – Caracterização geotécnica das amostras de RCC cinza.

Característica	Valor
Densidade real dos grãos (g/cm ³)	2,68
Umidade higroscópica (%)	5,11 - 8,46
Densidade aparente máxima (g/cm ³)	1,34 - 1,49
Densidade aparente mínima (g/cm ³)	1,22 - 1,30
Porosidade máxima	0,51 - 0,55
Porosidade mínima	0,45 - 0,50
Classificação SUCS	SP

SUCS = Sistema Unificado de Classificação de Solos

Fonte: Autores 2019.

Devido à proximidade dos resultados, optou-se por homogeneizar as 7 amostras, obtendo-se assim os resultados apresentados na figura 3 e tabela 4.

A curva granulométrica foi determinada através de peneiramento seco (traçado tracejado) e por sedimentação com defloculante (traçado contínuo).

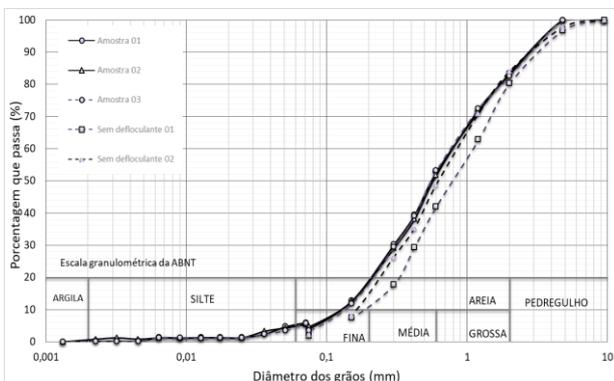


Figura 3. Curva granulométrica do RCC cinza após mistura de todas as amostras e homogeneização.

Tabela 4 – Caracterização geotécnica de RCC cinza após mistura de todas as amostras e homogeneização.

Característica	Valor
Densidade real dos grãos (g/cm ³)	2,73
umidade higroscópica (%)	6,41 - 6,75
Densidade aparente máxima (g/cm ³)	1,42
Densidade aparente mínima (g/cm ³)	1,22
Porosidade máxima	0,54 - 0,55
Porosidade mínima	0,48 - 0,49
Classificação granulométrica	SP

Fonte: Autores, 2019.

4.2 Caracterização do Solo

A Tabela 5 apresenta a caracterização geotécnica do taguá.

Tabela 5 – Caracterização geotécnica do taguá.

Característica	Valor
Densidade real dos grãos (g/cm ³)	2,69
Umidade higroscópica (%)	7,82
Densidade aparente seca máxima (g/cm ³)	1,596
Umidade ótima (%)	22,6
Limite de liquidez (%)	55 - 59
Limite de plasticidade (%)	24 - 31
Classificação SUCS	CH

SUCS = Sistema Unificado de Classificação de Solos

Fonte: Autores, 2019.

A Figura 4 apresenta a curva granulométrica do solo, mostrando um percentual de 65% de argila e aproximadamente 25% de silte e 10% de areia.

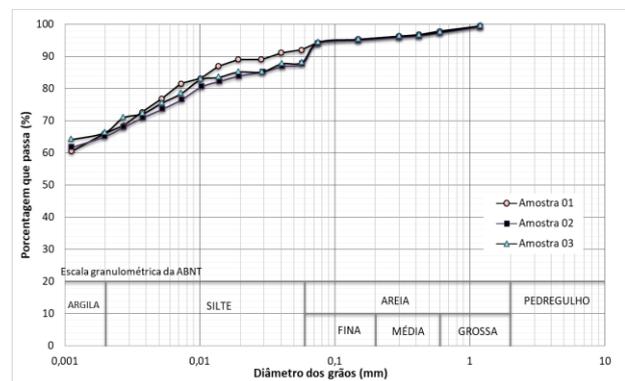


Figura 4. Curva granulométrica do taguá.



A Figura 5 apresenta a curva de compactação, cujo ramo seco foi difícil de determinar devido à expansão do solo durante a realização do ensaio. Os resultados dos ensaios de expansão estão apresentados na tabela 6.

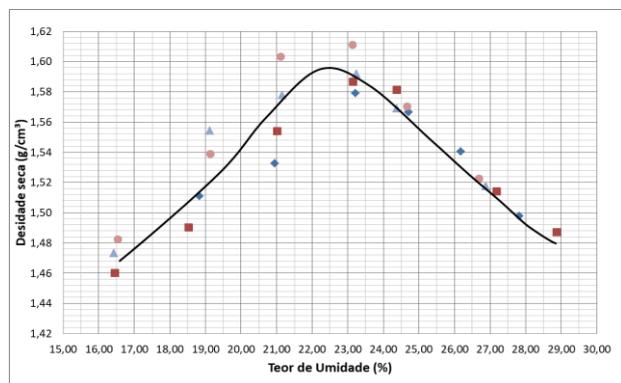


Figura 5. Curva de compactação do taguá.

Tabela 6 – Ensaios de expansão com o taguá.

Método	ρ_d (g/cm ³)	w (%)	P_{exp} (kPa)	Expansão (%)
1	1,600	20,97	115,22	14,06
	1,593	21,86	72,77	8,93
2	1,574	21,86	60,07	9,02
	1,597	20,97	66,27	10,25
Média	1,59±0,01	21,6±0,5	66±6	9,4±0,7

ρ_d = massa específica seca, w = teor de umidade, P_{exp} = pressão de expansão. Fonte: Autores, 2019.

Na tabela 6, o primeiro ensaio corresponde ao procedimento de expansão livre seguido pelo aumento de carregamento (método 1), e os ensaios posteriores correspondem à triplicata com inibição de expansão seguida pelo descarregamento do corpo de prova e posterior determinação da expansão (método 2). Optou-se por realizar os ensaios de expansão com a umidade aproximadamente 1,5% abaixo da ótima para obter-se maior expansão e valor de umidade próximo do obtido para as misturas.

Observa-se que, uma vez que o solo expanda (14,1%), a pressão para que ele retorne à altura original (115,2 kPa) é muito superior à necessária para inibir sua expansão (66±6 kPa). Após saturar com expansão inibida, o solo apresenta expansão livre menor (9,4±0,7).

4.3 Misturas

A figura 6 apresenta as curvas de compactação das misturas de solo com RCC, com adição de 20%, 35%, 50% e 65% em peso seco, denominadas, respectivamente, 80T20R, 65T35R, 50T50R e 35T65R. Percebe-se uma tendência a aumento a densidade aparente seca máxima e diminuição da umidade ótima de compactação com o acréscimo de resíduo, resultado esperado por se adicionar material granular ao solo. A tabela 7 apresenta o resumo dos resultados dos ensaios de compactação.

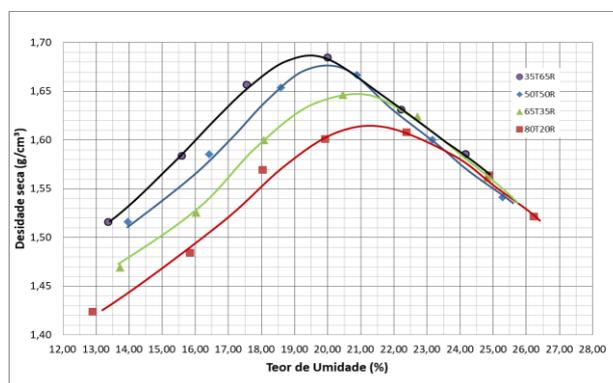


Figura 6. Curvas de compactação das misturas de RCC com taguá.

Tabela 7 – Parâmetros de compactação das misturas de RCC com taguá.

Fração	w_{ot}	ρ_{dmax}
35T65R	19,40	1,688
50T50R	20,00	1,675
65T35R	21,00	1,648
80T20R	21,40	1,612
100T0R	22,60	1,596

w_{ot} = teor de umidade ótimo, ρ_{dmax} = massa específica seca máxima. Fonte: Autores, 2019.

Para as misturas foram realizados apenas os ensaios de expansão seguindo o método 2, nos respectivos pontos ótimos das curvas de compactação. Os resultados, apresentados na tabela 8 e nas figuras 7 e 8, mostram que a pressão de expansão e posterior expansão livre diminuem com o acréscimo de RCC em peso seco de material.



Tabela 8 – Ensaio de expansão das misturas RCC-taguá.

Ensaio	pd (g/cm ³)	w (%)	P.exp (kPa)	Expansão (%)
35T65R 01	1,69	18,81	10,01	1,22%
35T65R 02	1,70	18,38	7,59	0,66%
35T65R 03	1,67	19,70	7,56	0,60%
Média	1,69±0,02	19,0±0,7	8,4±1,4	0,8±0,3
50T50R 01	1,68	19,22	22,39	3,65%
50T50R 02	1,67	20,14	19,96	1,32%
50T50R 03	1,67	20,14	25,04	1,72%
Média	1,67±0,01	19,8±0,5	22,5±2,5	2,2±1,2
65T35R 01	1,65	21,18	32,60	4,60%
65T35R 02	1,64	21,17	20,11	2,35%
65T35R 03	1,64	21,15	35,03	3,76%
Média	1,64±0,00	21,2±0,0	29,2±8,0	3,6±1,1
80T20R 01	1,60	20,88	72,77	7,98%
80T20R 02	1,62	20,88	53,87	6,76%
80T20R 03	1,62	20,62	66,18	7,45%
Média	1,61±0,01	20,8±0,1	64,3±9,6	7,4±0,6

Fonte: Autores, 2019.

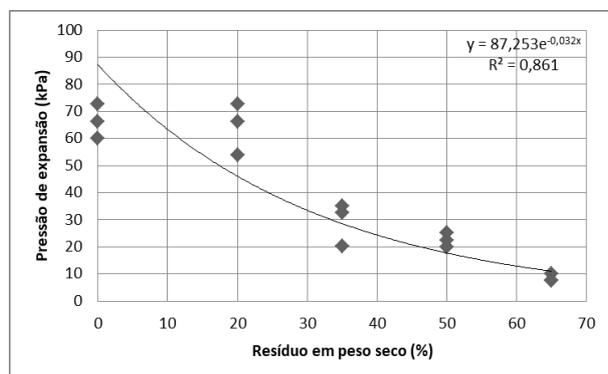


Figura 7. Pressão de expansão do taguá em função da porcentagem de RCC em peso seco.

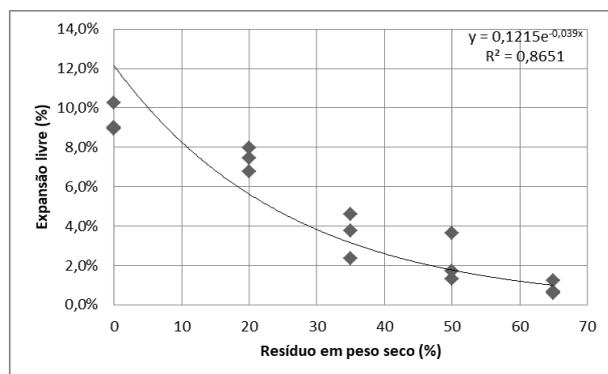


Figura 8. Expansão livre do taguá em função da porcentagem de RCC em peso seco.

Regressões exponenciais não aderiram bem aos pontos experimentais. Possivelmente dois efeitos se somam: redução da expansão devido à presença de material cimentício e alteração do material com a adição de areia e finos não plásticos ao solo. A contribuição de cada parcela para a diminuição da expansão será investigada no prosseguimento da pesquisa.

5 CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS

A pesquisa bibliográfica evidenciou a grande quantidade de resíduos de construção civil gerados e a necessidade de sua reutilização.

A metodologia da pilha alongada mostrou homogeneização satisfatória do RCC.

A aplicação do RCC como aditivo para estabilização de solo expansivo mostrou-se viável, pois o acréscimo de resíduo resulta na redução da expansão do solo, porém os valores acrescentados de RCC foram muito elevados.

Ainda não foi possível determinar a parcela da contribuição de materiais cimentícios e a parcela da estabilização granulométrica. Nas futuras análises, serão realizados ensaios de expansão substituindo-se o RCC por areia pura, para verificar se a redução da expansão é devida ao material cimentício existente no RCC ou se a estabilização foi apenas granulométrica. Caso a estabilização seja proveniente dos materiais cimentícios, será posteriormente analisada a influência do tempo de cura.

AGRADECIMENTOS

Os autores manifestam seus agradecimentos a todos que contribuíram para a elaboração dessa pesquisa, em especial ao Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS) da Universidade de São Paulo. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – NBR-6457. *Amostras de solo – preparação para*



- ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro. 1986.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – NBR-6459. *Solo – Determinação do Limite de Liquidez*. Rio de Janeiro. 1984.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – NBR-6508. *Grãos de solo que passam pela peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica*. Rio de Janeiro. 1974.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – NBR-7180. *Solo – Determinação do Limite de Plasticidade*. Rio de Janeiro. 1984.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – NBR-7181. *Solo – Análise granulométrica*. Rio de Janeiro. 1984.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – NBR-12004. *Solo – Determinação do índice de vazios máximos de solo não coesivo*. – Norma Cancelada em 2015. Rio de Janeiro. 1990.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – NBR-12051. *Solo – Determinação do índice de vazios mínimos de solo não coesivo*. – Norma Cancelada em 2015. Rio de Janeiro. 1991.
- Amorim, E. F. *Viabilidade técnica econômica de misturas de Solo-RCD em camadas de base de pavimentos urbanos. Estudo de caso: Município de Campo Verde – MT*. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2013.
- Angulo, S. C. *Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos*. Dissertação (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- Angulo, S. C.; Mueller, A. *Determination of construction and demolition recycled aggregates composition, in considering their heterogeneity*. *Materials and Structures*. 42: 739 – 748. 2009
- Bertolini, E. *Audiência pública da Câmara dos Deputados debate a situação dos resíduos gerados pelas construções e demolições*. SindusConSP. São Paulo, 11 de maio de 2018. Disponível em: <<https://www.sindusconsp.com.br/audiencia-publica-da-camara-dos-deputados-debate-a-situacao-dos-residuos-gerados-pelas-construcoes-e-demolicoes/>>. Acesso em: 01 de junho de 2018.
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução nº307*. Brasília. 2002.
- Hashimoto, S.; Tanikawa, H.; Moriguchi, Y. *Where will large amounts of materials accumulated within the economy go? – A material flow analysis of construction minerals for Japan*. *Wasre Manag.* 27, 1725–1738. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.10.009>. 2007.
- John, V. M. *Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento*. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2000.
- Kataguirí, K. *Preposição de critérios técnicos e ambientais para criação de banco de dados de solos para a região metropolitana de São Paulo*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil e Urbana, Departamento de Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2017.
- Magnusson, S.; Lundberg, K.; Svedberg, B.; Knutsson, S. *Sustainable management of excavated soil and rock in urban areas – A literature review*. *J. Clean. Prod.* 93,18–25. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.010>. 2015.
- Massad, F. *Resistência ao cisalhamento e deformabilidade dos solos sedimentares de São Paulo*. Twin Cities; Solos das regiões metropolitanas de São Paulo e Curitiba. ABMS. 2012
- Monier, V.; Mugdal, S.; Hestin, M.; Trarieux, M.; Mimid, S. *Service contract on management of construction and demolition waste (final report for Commission DG Environment)*. Contract 07.0307/2009/540836/SER/G2.Bio Intelligence Service S.S.S., Paris. 2011.
- Monteiro, M. D.; Gurgueira, M. D.; Rocha, H. C. *Geologia da região metropolitana de São Paulo*. In: TWIN CITIES – Solos das regiões metropolitanas de São Paulo e Curitiba. 2012
- Nomachi, R. Y. G.; Boscov, M. E. G. *Caracterização do material escarpado de resíduos de construção civil reciclados para uso geotécnico*. 24º SIICUSP, São Paulo, SP, 2016.
- Pereira, E. M. *Estudo do comportamento à expansão de materiais sedimentares da Formação Guabirotuba em ensaios de sucção controlada*. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.
- Pinto, T. P. *Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana*. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- Quattrone, M.; Angulo, S. C.; John, V. M. *Energy and CO2 from high performance recycled aggregate production*. *Resources, Conservation and Recycling JCR*, v90, p, 21 – 33, 2014.
- Santos E. C. G. *Aplicação de resíduos da construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado*. Dissertação (mestrado em geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- Sharma, R.K; Hymavathi, J. *Effect of fly ash, construction demolition waste and lime on geotechnical characteristics of a clayey soil: a comparative study*.



Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2016.

Silva, D. A.; Martins, C. P.; Oliveira, C. A. S. *Análise do comportamento de solos com o reaproveitamento de RCC*. XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. 2016.

Stuermer, M. M.; Boscov, M. E. G.; Oliveira, E. *Metal transport parameters of a Gneiss Saprolitic Silty Soil for liner design*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. P, 509 – 518, 2008.

Ulsen, C.; Kahn, H.; Hawlitschek, G.; Masini, E. A.; Angulo, S. C. *Separability studies of construction and demolition waste recycled sand*. Waste Management (Elmsford), v. 33, p. 656-662, 2013.