

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES E VIABILIDADE ECONÔMICA DA CERÂMICA VERMELHA UTILIZADA COMO AGREGADO RECICLADO MIÚDO PARA PAVIMENTAÇÃO

PROPERTIES ANALYSIS AND ECONOMIC VIABILITY OF THE RED CERAMIC USED AS SMALL RECYCLED AGGREGATE TO PAVEMENT.

José Wilson dos Santos Ferreira¹; Daniele Araujo Altran²; Filipe Bittencourt Figueiredo²; Cassio Fabian Sarquis De Campos²

Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE, ¹Discente de Engenharia Civil; ²Docente de Engenharia Civil, Presidente Prudente, SP.
E-mail: wilson_s.ferreira@hotmail.com

RESUMO - Sendo a construção civil um dos principais setores responsáveis pelo desperdício de matéria prima, é imprescindível que o próprio setor busque mecanismos a fim de minimizar o gasto excessivo e promover a eficiência de sua produção. Em virtude do montante de Resíduos de Construção e de Demolição (RCD) gerados e da Política Nacional dos Resíduos Sólidos, o trabalho buscou analisar a viabilidade de se substituir os agregados miúdos comuns pelos reciclados, a partir do beneficiamento da cerâmica vermelha, a fim de serem aplicados nas camadas de pavimentação flexíveis. Subsidiado pela NBR 15116, o material não apresentou resultados satisfatórios tanto nas análises físicas quanto mecânicas. Assim, estudos futuros deverão pautar-se na melhoria da qualidade do material, de modo que possa contribuir para o cumprimento de um dos principais pontos da Lei Federal 12305/10, referente ao descarte em aterros sanitários apenas dos resíduos que não possam ser reutilizados ou reciclados.

Palavras-chave: Cerâmica Vermelha; Pavimentação; Agregado Miúdo.

ABSTRACT - Being civil construction one of the most responsible for the feedstock waste, is indispensable that the own sector find mechanism to reduce the excessive use and promote the efficiency of the production. Based in the amount of Construction and Demolition Waste (RCD) generated and the Solids Waste National Politician, the research analyzed the viability of replaced common small aggregates for the recycled, through of beneficiation of the red ceramic, to be applied in the flexible pavement layer. Subsidized for NBR 15116, the material did not present satisfactory results both physical analyzes as mechanicals. Therefore, the next study will need focusing in the improvement quality sample's, in order to contribute to the implementation of Federal Law 12305/10, regarding the discards in sanitary landfill just the waste who cannot be recycle.

Keywords: Red Ceramic; Pavement; Small Aggregate.

Recebido em: 19/08/2016

Revisado em: 30/08/2016

Aprovado em: 02/09/2016

1. INTRODUÇÃO

A economia brasileira ocupa a 7ª posição entre as maiores economias mundiais, segundo o critério de paridade de poder de compra, estabelecida pelo Banco Mundial. Em função do regionalismo, "compreendido no contexto em que os Estados buscam influenciar os processos de globalização econômica a partir de sua integração com outros" (MAINSFIELD; MILNER, 1999 apud OLIVEIRA, 2012, p. 8) e do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) a construção civil passou a ser um dos principais mecanismos de investimento desse cenário.

Em detrimento das reformas estruturais proporcionadas por ela, observa-se um enorme consumo de matéria prima, de acordo com Carneiro et al. (2001), a construção civil consome 20 a 50% do total de recursos naturais utilizados pela sociedade, sendo assim a principal geradora de resíduos da economia. Grande parte do entulho produzido por ela é proveniente do desperdício de materiais na fase de execução de um serviço e das reformas e demolições, devido à eliminação de vários componentes durante a utilização e após o término dela (CARNEIRO et al., 2001).

Também conhecidos como Resíduos de Construção e Demolição (RCD), segundo a Resolução CONAMA 307/2002, em seu artigo

3º, eles devem ser classificados em quatro classes. A fins de estudo, o presente trabalho ater-se-á a classe A, onde se enquadram as cerâmicas vermelhas.

Embora não se tenha dados concretos acerca do volume anual de RCD gerados no Brasil, devido estatísticas de resíduos ser limitadas e a ausência de padronização na classificação (JOHN, 2000), dados do Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo, (PINTO, 2005) apresentavam, em 2003, uma geração de 17240 toneladas/dia na cidade de São Paulo, relativa a 55% dos resíduos sólidos urbanos produzidos. Paralelo a essa referência, observou-se um crescimento de 5,3% na coleta de RCD no país entre 2011 e 2012, totalizando 35 milhões de toneladas. Ressalta-se, ainda, que a quantidade é ainda maior, visto que a maioria dos municípios, coletam apenas aqueles detritos lançados nos logradouros públicos (ABRELPE, 2012).

Para Pinto (apud HOLDERBAUM, 2009) a mistura de entulho gerada na obra é composta, basicamente de: 60% argamassa, 30% de componentes de vedação (tijolos, blocos, cacos cerâmicos), 9% de materiais (concreto, pedra, areia, metálicos e plásticos) e 1% de orgânicos, ainda que essas proporções sejam variáveis em função da origem - características da construção e do grau de desenvolvimento da região (BOSCOV, 2008; MENEZES; PONTES; AFONSO, 2011).

Entre diversos estudos realizados a respeito da reutilização dos componentes de vedação (Grupo de Pesquisa em Materiais de Construção e Estruturas (GPMATE), Grupo de Estudos em Materiais Alternativos para Construção e Concretos Especiais (MACCE), (CAMPOS; MAZINI; NETO, 2012) observou-se uma lacuna no que se refere aos estudos da reciclagem dos materiais cerâmicos vermelhos como agregados para a pavimentação.

É evidente, com a sanção da Lei Federal 12305/10 que institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), a preocupação da sociedade com a gestão dos entulhos produzidos, assim como com a sustentabilidade. De acordo com Baptista Junior e Romanel (2013, p. 28) "Essa busca pela eficiência, para diminuir o consumo de recursos naturais e o consequente impacto ambiental, vem incentivando um mercado crescente e cada vez mais competitivo de produtos sustentáveis [...]". A construção sustentável é, portanto, a via única a ser percorrida.

No trabalho relatado aqui, analisou-se as propriedades físicas e mecânicas das cerâmicas vermelhas com objetivo de reutilizá-las, após processo de beneficiamento, como agregados miúdos para as camadas de reforço do subleito, sub-base e base de pavimentação, atentando-se

aos padrões mínimos estabelecidos e sua viabilidade econômica.

2. METODOLOGIA

Fundamentado pela Norma ABNT NBR 15116, que prescreve os índices que os agregados reciclados devem atender a fim de serem reutilizados na pavimentação, formou-se uma amostra de campo com a separação e coleta de 100 kg de lajota cerâmica, inutilizada, localizada na própria instituição. Em decorrência do material encontrar-se depositado a céu aberto, lavou-se e secou-o naturalmente, a fim de retirar impurezas e atingir a umidade higroscópica, sequencialmente.

Devido a forma das peças, passou-se elas por processo de beneficiamento, com o auxílio de um triturador mecânico, resultando em um agregado de dimensões menores ou iguais a 5 mm.

Para os ensaios laboratoriais, reduziu-se a amostra de campo, embasada na NBR NM 27. Para tanto, dispersou-se o material em uma bandeja metálica e utilizou-se o método de quarteamento manual, onde se misturou toda a amostra com o auxílio de uma pá, até que, visualmente, atingisse a homogeneização dela. Seguidamente, dividiu-se em quatro partes, sendo duas escolhidas aleatoriamente para o novo quarteamento, análogo ao processo descrito,

até que a quantidade restante fosse suficiente para realizar os ensaios.

Entre os ensaios necessários para caracterização do material, realizou-se os ensaios de requisitos gerais, como o de granulometria (ABNT NBR NM 248/2003), por meio do qual definiu-se a curva granulométrica, coeficiente de uniformidade e teor de material passante em uma peneira pré-estabelecida. Também, fez-se o ensaio de compactação dos solos (ABNT NBR 7182/1986), indispensável na determinação da umidade ótima.

Dispensou-se o ensaio de teores de contaminantes em decorrência de o material encontrar-se em estado puro.

Na análise dos requisitos específicos, subsidiada pela ABNT NBR 9895/1987, que regulamenta a execução do Índice de Suporte Califórnia - ISC ou California Bearing Ratio – CBR, foram moldados corpos-de-prova com teores de umidade variando em torno da umidade ótima, tanto para uma energia de compactação normal quanto intermediária.

3. RESULTADOS

Na realização do ensaio de granulometria (Figura 1), fez-se a comparação do agregado reciclado com uma amostra de areia extraída do porto de areia de Presidente Epitácio (SP) de mesma massa, como segue nas tabelas 1 e 2.

Tabela1. Granulometria do agregado reciclado miúdo.

AGREGADO RECICLADO				
Nº da #	Abertura (mm)	Massa Retida (g)	% Retida	% Passante
4	4,8	1,9	0,2	99,8
8	2,38	4,6	0,7	99,4
16	1,19	86,2	9,3	90,7
30	0,59	245,2	33,8	66,2
40	0,39	171,6	50,9	49,1
50	0,297	81,0	59,0	41,0
100	0,149	215,8	80,6	19,4
200	0,075	109,5	91,6	8,4
Fundo		84,3		

Fonte: (Autoria própria).

Tabela2. Granulometria do agregado comum.

AGREGADO COMUM				
Nº da #	Abertura (mm)	Massa Retida (g)	% Retida	% Passante
4	4,8	11,24	1,1	98,9
8	2,38	27,71	3,9	96,1
16	1,19	77,79	11,7	88,3
30	0,59	235,47	35,2	64,8
50	0,297	440,28	79,2	20,8
100	0,147	188,77	98,1	1,9
200	0,075	16,18	99,7	0,3
Fundo		1,61		

Fonte: (Autoria própria).

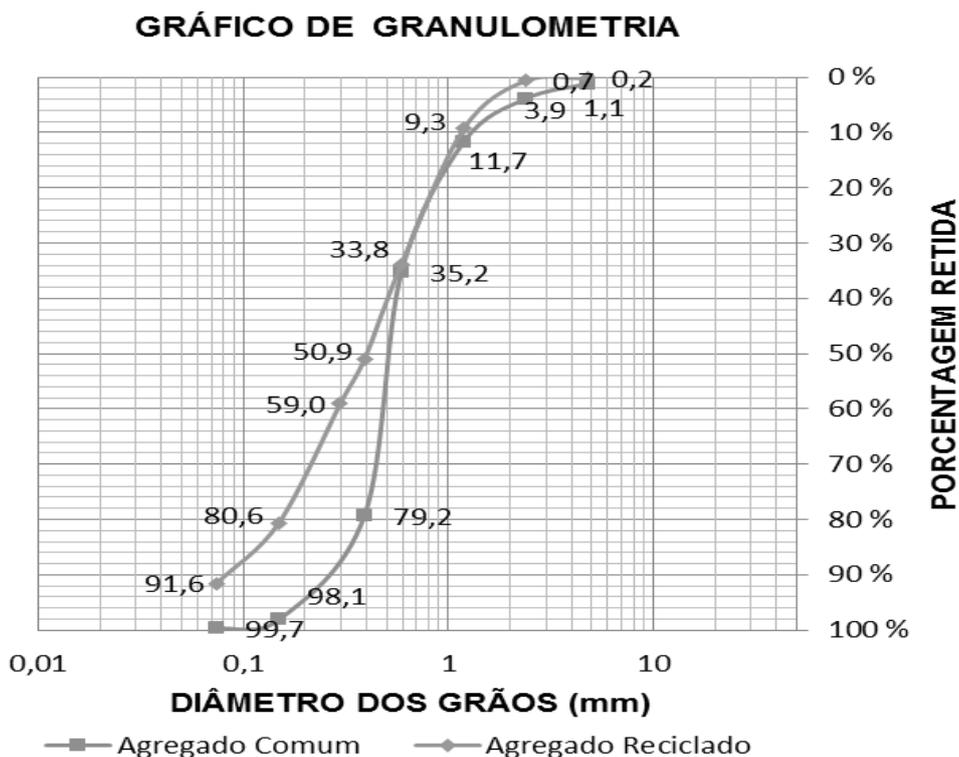


Figura1. Gráfico de granulometria.

Fonte: (autoria própria).

Observou-se que o material obtido através do beneficiamento teve material retido em todas as peneiras, indicador positivo no que se refere a preencher os espaços vazios entre os agregados graúdos da pavimentação.

A partir da curva, calculou-se o coeficiente de uniformidade, C_u , igual a 6,6. Outro parâmetro verificado através desse ensaio foi o teor de material passante na peneira intermediária de 0,42 mm, aferido em uma porcentagem de 49,1%.

Por meio do ensaio de compactação, determinou-se o teor de umidade ótima, assim como a densidade seca máxima, necessários ao ensaio sequente.

Optou-se por executá-lo com reuso de material, assim, após a extração e coleta de uma pequena porção central de material para medir a umidade presente, destorroou-se toda a amostra para repetir todo o procedimento acrescentado teores de água.

Os dados coletados no ensaio estão dispostos no Apêndice A, que embasou a construção da curva de compactação do agregado reciclado miúdo (Figura 2).

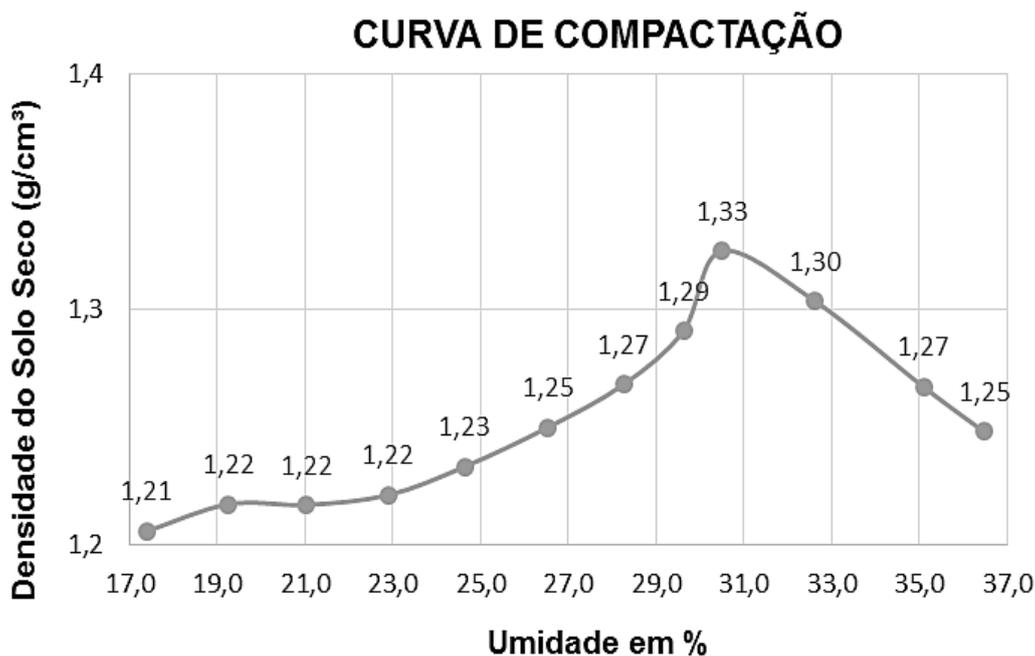


Figura2. Curva de compactação.

Fonte: (autoria própria).

Em virtude dos resultados obtidos na umidade ótima e densidade seca máxima, referente a 30,5% e 1,33 g/cm³, seu comportamento se assemelha a de um material argiloso. Normalmente, os solos assim classificados apresentam umidades ótimas elevadas e densidades secas baixas (PINTO, 2006).

Ainda assim, há diferenças com uma curva de compactação típica de uma argila (Figura 3), provavelmente em decorrência do processo industrial que já ocorrera no material ensaiado.

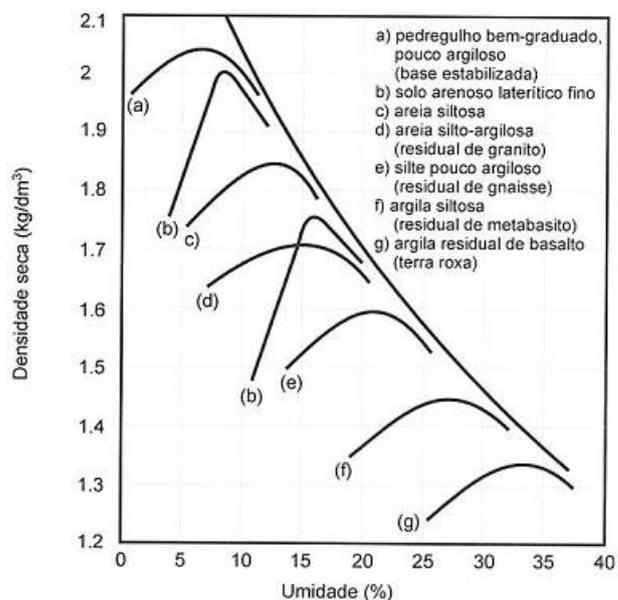


Figura 3. Curvas de compactação de diversos solos brasileiros.

Fonte: (autoria própria).

O último ensaio diz respeito a resistência à penetração apresentada por um solo compactado e saturado, sendo regulamentado pela NBR 9895.

Nesse ensaio, separa-se uma amostra de solo de, aproximadamente, 7 kg para a moldagem de cada um dos 5 cilindros. Adiciona-se água em teores crescentes, sendo o molde intermediário correspondente a umidade ótima aferida no ensaio de compactação.

Com o auxílio de um soquete, compacta-se cinco camadas.

Devido aos requisitos específicos da NBR 15116, realizou-se esse ensaio primeiramente com energia normal e depois com intermediária, equivalente a 12 e 26 golpes por camada.

Os resultados obtidos no ensaio de expansão, após imersão de 96 horas, tanto compactados com energia normal quanto intermediária, seguem nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Ensaio de expansibilidade com energia normal.

Umidade (%)	Tempo (h)	Leitura (mm)	Diferença (mm)	Expansão (%)
	0	0		
28,5	96	0	0	0
	0	0		
29,5	96	0	0	0
	0	0		
30,5	96	0	0	0
	0	0		
31,5	96	0,01	0,01	0,01
	0	0		
32,5	96	0,012	0,012	0,01

Fonte: (autoria própria).

Tabela 4. Ensaio de expansibilidade com energia intermediária.

Umidade (%)	Tempo (h)	Leitura (mm)	Diferença (mm)	Expansão (%)
	0	0		
28,5	96	0,014	0,014	0,01
	0	0		
29,5	96	0	0	0
	0	0		
30,5	96	0	0	0
	0	0		
31,5	96	0,009	0,009	0,01
	0	0		
32,5	96	0,019	0,019	0,02

Fonte: (autoria própria).

Após aguardar um tempo de escoamento normatizado de 15 minutos, os cilindros foram levados a prensa, onde foi aplicado uma carga, obtendo-se no extensômetro da máquina a penetração em função de determinados intervalos de tempo.

Foi calculada a pressão e comparada a pressão padrão, sendo o ISC dado em porcentagem (Tabela 5 e 6).

Constatou-se que os resultados do Índice de Suporte Califórnia ficaram muito abaixo dos prescritos pela NBR 15116:

Tabela 5. ISC com energia normal.

Umidade (%)	Penetração (mm)	Calculada (kgf/cm ²)	Padrão (kgf/cm ²)	ISC (%)
28,5	2,54	0,130848	70	0,19
	5,08	0,332572	105	0,32
29,5	2,54	0,109040	70	0,16
	5,08	0,223532	105	0,21
30,5	2,54	0,185368	70	0,26
	5,08	0,370736	105	0,35
31,5	2,54	0,245340	70	0,35
	5,08	0,626980	105	0,60
32,5	2,54	0,245340	70	0,35
	5,08	0,594268	105	0,57

Fonte: (Autoria própria).

Tabela 6. ISC com energia intermediária.

Umidade (%)	Penetração (mm)	Calculada (kgf/cm ²)	Padrão (kgf/cm ²)	ISC (%)
28,5	2,54	0,38709	70	0,55
	5,08	1,02498	105	0,98
29,5	2,54	0,24534	70	0,35
	5,08	0,72512	105	0,69
30,5	2,54	0,45797	70	0,65
	5,08	1,34119	105	1,28
31,5	2,54	0,78509	70	1,12
	5,08	1,61379	105	1,54
32,5	2,54	0,51249	70	0,73
	5,08	1,25941	105	1,20

Fonte: (Autoria própria).

Devido a impossibilidade de correção na curva do ISC para energia normal e

intermediária (Figura 4), utilizou-se dos dados referentes a pressão calculada.

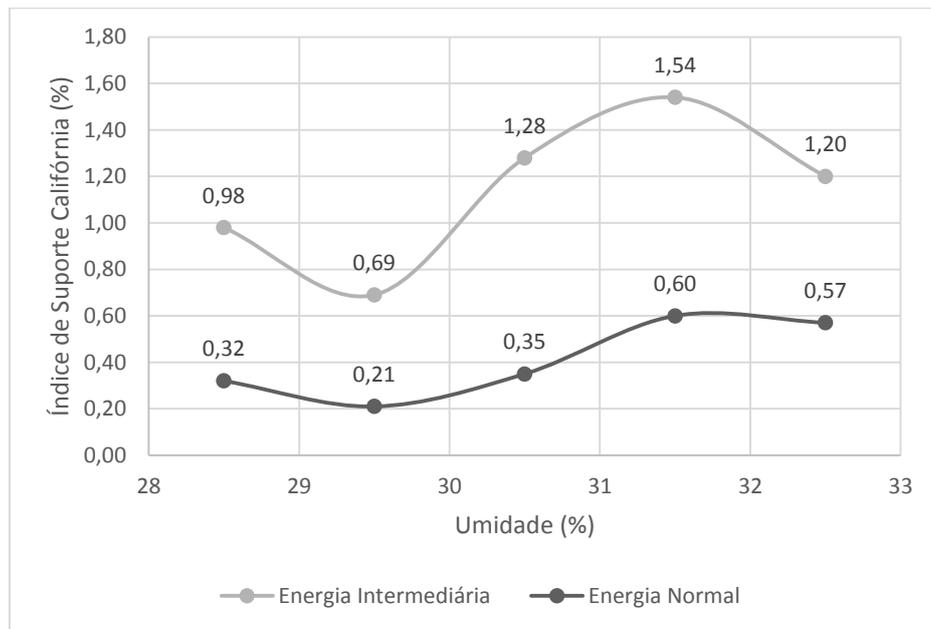


Figura 4. Índice de Suporte Califórnia.

Fonte: (Autoria própria).

4. DISCUSSÃO

A partir dos dados coletados nos ensaios, comparou-os aos parâmetros prescritos pela NBR 15116.

Do ensaio de granulometria, verificou-se que o Coeficiente de uniformidade ficou abaixo do considerado, sendo classificada por Caputo (1988) como tendo uniformidade média.

Em relação ao material passante na peneira de 0,42 mm observou-se resultado ineficiente, haja visto que o material está acima da faixa estabelecida, entre 10% e 40%.

Com base no Índice de Suporte Califórnia, foi verificado a baixa expansão que os agregados reciclados da cerâmica vermelha apresentaram, visto que a ela ficou

abaixo de 1,0%, além de ser nula na umidade ótima, conforme mostrado nas Tabelas 3 e 4.

Por outro lado, para se estudar a viabilidade econômica desse agregado miúdo sem correções mineralógicas, o mesmo deveria ter apresentado CBR mínimo de 12, 20 ou 60% para uso nas camadas de reforço do subleito, sub-base e base, sequencialmente.

Como exposto na Figura 4, nenhum ponto atingiu esse requisito específico, ainda que os resultados calculados por meio da energia intermediária de compactação tenham sido maiores que o dobro daqueles com o mesmo teor de umidade e feitos com energia normal.

5. CONCLUSÕES

A análise dos resultados físicos não se mostrou eficiente para a finalidade proposta, visto que os resultados advindos desses ensaios ficaram fora dos parâmetros impostos pela norma. No que se refere à análise mecânica, observou-se comportamento semelhante ao de uma argila, embora ressalta-se a influência do processo industrial pelo qual a amostra passou.

Constatou-se a inviabilidade desse material no ensaio do Índice de Suporte Califórnia, ainda que a expansibilidade esteja adequada, no que diz respeito à resistência à penetração, a amostra não atingiu os parâmetros mínimos necessários. Com isso, absteu-se da análise econômica.

Contudo, estudos futuros poderão abordar como uma possível solução a correção granulométrica com a mistura de um solo para o cumprimento dos pontos desfavoráveis.

REFERÊNCIAS

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos No Brasil 2012**. São Paulo, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados - determinação da composição granulométrica**: NBR NM 248. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados para concreto - determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis**: NBR 9917, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados reciclados da construção civil - execução da camada de pavimentação - procedimentos**: NBR 15115. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - requisitos**: NBR 15116. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo - análise granulométrica**: NBR 7181, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo - índice de suporte Califórnia**: NBR 9895, 1987

BAPTISTA JUNIOR., J.V.; ROMANEL, C. Sustentabilidade na indústria da construção: uma logística para reciclagem dos resíduos de pequenas obras. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, Curitiba, v.5, n.2, p. 27-37, jul./dez. 2013.
<https://doi.org/10.7213/urbe.05.002.SE02>

BOSCOV, M.E.G. **Geotecnia ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

CAMPOS, C.F.S.; MAZINI, G.B.; NETO, G.A.S. Análise das propriedades físicas e mecânicas do concreto produzido com resíduo sólido de cerâmica vermelha. **Colloquium Exactarum**, Presidente Prudente, v.4, n.2, p.1-11, jul./ago. 2012

CAPUTO, H.P. **Mecânica dos Solos e suas aplicações**: fundamentos. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 1988.

CARNEIRO, A.P. et al. **Reciclagem de entulho para a produção de materias de construção.** Salvador: Ed EDUFBA, 2011. 312 p.

HOLDERBAUM, M. **Gestão de resíduos da construção civil:** análise da cidade de Porto Alegre. 2009. 58f. Trabalho (Conclusão de Curso) - Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil.** 2000. 102 f. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

MENEZES, M. S.; PONTES, F. V. M.; AFONSO, J. C. Panorama dos Resíduos de Construção e Demolição. **Revista de Química Industrial**, Rio de Janeiro, n. 733, p. 17-21, 4º trim., 2011. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/rqi/2011/733/RQI-733-pagina17-Panorama-dos-Residuos-de-Construcao-e-Demolicao.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2016.

OLIVEIRA, I.T.M. **O regionalismo no sec. XXI:** comércio, regulação e política. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2012. p.8.

PINTO, T.P. (Coord.). **Gestão ambiental de resíduos da construção civil:** a experiência do SindusCon-SP. São Paulo: SindusCon-SP, 2005. 48p.

PINTO, C.S. **Curso básico de mecânica dos solos.** 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 367p. Cap. 1, 4.

VLACK, L.H.V. **Propriedades dos materiais cerâmicos.** São Paulo: E. Blucher, 1973. 318p.

APÊNDICE A

Recipiente Nº	25	29	31	41	42	20	15	102	416	410	417	413
Amostra úmida + tara (g)	84,52	82,41	94,49	70,67	83,73	94,55	94,73	98,87	113,72	99,2	110,78	102,37
Amostra seca + tara (g)	76,31	73,64	83,15	62,36	72,84	80,47	80,25	83,43	93,85	82,46	89,55	83,13
Água (g)	8,21	8,77	11,34	8,31	10,89	14,08	14,48	15,44	19,87	16,74	21,23	19,24
Tara (g)	29,12	28,11	29,25	26,07	28,64	27,43	29,02	31,32	28,70	31,15	29,07	30,39
Amostra seca (g)	47,19	45,53	53,9	36,29	44,2	53,04	51,23	52,11	65,15	51,31	60,48	52,74
Umidade (%)	17,4	19,3	21,0	22,9	24,6	26,5	28,3	29,6	30,5	32,6	35,1	36,5
Peso do solo úmido + cilindro (g)	3478	3512	3532	3558	3592	3634	3676	3720	3772	3772	3756	3748
Peso do cilindro (g)	2150	2150	2150	2150	2150	2150	2150	2150	2150	2150	2150	2150
Peso do solo úmido (g)	1328	1362	1382	1408	1442	1484	1526	1570	1622	1622	1606	1598
Densidade do solo úmido (g/cm ³)	1,42	1,45	1,47	1,50	1,54	1,58	1,63	1,67	1,73	1,73	1,71	1,70
Densidade do solo seco (g/cm ³)	1,21	1,22	1,22	1,22	1,23	1,25	1,27	1,29	1,33	1,30	1,27	1,25