

III-098 – UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA CONFECÇÃO DE BLOCOS DE VEDAÇÃO

Leonardo Carvalho Mesquita⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Viçosa. Mestrando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa.

Izabel Christina d Almeida Duarte de Azevedo

Profa. Titular no Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa.

Eduardo Souza Cândido

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Viçosa. Mestrando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa.

Gabriel Almeida Cathoud

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa.

Endereço⁽¹⁾: Rua Francisco Machado, 174, AP. 101 - Ramos - Viçosa - MG - CEP: 36570-000 - Brasil - Tel: (31) 9119 8195 - e-mail: leonardo.mesquita@ufv.br

RESUMO

Pesquisas têm sido desenvolvidas para a utilização de resíduos de construção e demolição (RCD) reciclados em materiais e processos construtivos que não causem danos ao homem e ao meio ambiente, proporcionando alternativas de utilização sustentável desse material. Nesse trabalho, analisou-se a viabilidade tecnológica da utilização de agregados produzidos pela britagem de RCD em substituição aos materiais convencionais em blocos de vedação vazados de alvenaria. O agregado reciclado foi caracterizado quanto a sua massa específica, granulometria, teor de materiais pulverulentos e teor de matéria orgânica. A partir de um traço padrão, foram produzidos cinco novos traços de concreto em que se variou a relação entre os agregados naturais (areia artificial e areia lavada) e os de RCD. Os traços foram dosados em massa e a água de amassamento foi acrescentada empiricamente, de forma a obter uma consistência adequada para o processo de prensagem. Os blocos, com largura nominal de 15 cm, foram levados à ruptura aos 28 dias, tendo apresentado valores de resistência característica à compressão entre 2,5 MPa (com adição de areia e sem RCD) e 4,3 MPa (com RCD e sem a adição de areia), superiores, portanto, ao mínimo estabelecido em norma (2,0 MPa para os blocos de concreto classe D). Os resultados da pesquisa demonstraram a possibilidade de utilização racional e sustentável de materiais alternativos provenientes de RCD em substituição ao agregado comum, contribuindo duplamente para minimizar o passivo ambiental, dando um destino adequado para o resíduo da construção civil e, principalmente, reduzindo a extração de agregados naturais. A pesquisa foi conduzida com base nas normas técnicas brasileiras em vigor, sob a supervisão de técnicos do Laboratório de Materiais de Construção Civil do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa, e em parceria com uma empresa de pré-moldados.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos de construção, Reciclagem, Blocos de vedação

INTRODUÇÃO

No Brasil, os resíduos de construção civil e demolição (RCD) chegam a atingir 60% da massa total de resíduos sólidos urbanos (RSU) produzidos, com geração per capita em torno de 500 kg/(hab. ano). Do ponto de vista ambiental, os principais problemas dos RCD são os grandes volumes gerados e a disposição irregular.

A reciclagem na construção civil pode gerar muitos benefícios, como a redução no consumo de recursos naturais não renováveis e a diminuição da poluição gerada pelo entulho e de suas consequências negativas, como enchentes e assoreamento de rios e córregos. Alternativas sustentáveis têm sido avaliadas em relação à utilização dos RCD como agregado reciclado com possibilidade de uso em pavimentação, produção de argamassas, blocos e artefatos de concreto, sistemas de drenagem e muros de peso em obras de contenção, entre outros.

O uso desses resíduos na construção civil, entretanto, deve ser precedido de um estudo criterioso em relação às suas características, propriedades físicas, estanqueidade, deformabilidade e resistência, entre outras, para garantir o sucesso destes produtos no mercado. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi analisar a viabilidade técnica da utilização de agregados produzidos pela britagem de RCD em substituição aos materiais convencionais (areia, seixo, pedra britada e pó de pedra) na produção de blocos vazados de concreto simples para alvenaria de vedação, tendo em vista sua resistência e absorção.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os resíduos de construção e demolição foram coletados aleatoriamente de caçambas espalhadas na região de Muriaé, MG, que apresentavam em sua composição parcelas de material cinza (argamassas e concretos) e vermelho (cerâmicas, telhas e tijolos), além de restos de tinta, solventes, pregos e outros que foram descartados. Desses resíduos, foram separadas amostras para sua caracterização física e o restante foi encaminhado a uma empresa parceira, localizada no mesmo município de coleta dos resíduos, onde foram transformados em agregados por meio de seu processamento em britador de mandíbula.

Na confecção dos blocos, foram utilizados como agregados naturais o pó de pedra da pedreira São Geraldo de Muriaé, MG, e a areia grossa do Areal Titonelli de Laranjal, MG.

O aglomerante utilizado foi o Cimento Portland Maxx Concreto CPV-ARI-RS, fabricado pela Indústria Lafarge do Brasil S/A, localizada na cidade de Cantagalo, RJ, cujas características químicas e físicas estão em conformidade com a NBR 11.578/2004.

Para a caracterização dos agregados de RCD foram utilizadas as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

A partir de um traço padrão, foram produzidos cinco novos traços de concreto em que se variou a relação entre os agregados naturais (areia artificial e areia lavada) e os agregados de RCD. Os traços foram dosados em massa e a água de amassamento foi acrescentada empiricamente, de forma a se obter consistência adequada para o processo de prensagem. Os materiais de cada um dos seis diferentes traços, cinco com agregados de RCD e um padrão, foram misturados em um misturador e prensados em uma vibroprensa semi-automática.

A cura ocorreu ao ar livre, com proteção contra o vento e a chuva e com irrigações periódicas de suas superfícies nas primeiras 24 horas. Posteriormente, os blocos foram deixados em um pátio externo por 14 dias, para a conclusão do processo.

Os blocos, com largura nominal de 15 cm, tinham 14 cm de largura, 19 cm de altura, e 39 cm de comprimento, de acordo com a NBR-6136/2006.

O ensaio de resistência à compressão foi realizado em conformidade com a NBR 12118/2011, e consistiu nas etapas de regularização das faces de trabalho com pastas ou argamassas, na verificação da umidade relativa dos blocos e na execução do ensaio de compressão propriamente dito.

A utilização de uma argamassa capaz de resistir às tensões do ensaio foi colocada sobre o molde de capeamento, cuja superfície foi previamente untada com leve camada de óleo e não se afastou do plano mais do que 8×10^{-2} para cada 4×10^2 mm. Em seguida, comprimiu-se a superfície do corpo de prova a ser capeada de encontro à argamassa, tendo-se tido o cuidado de manter as faces laterais do bloco perpendiculares à referida superfície, com tolerância máxima de $\pm 5^\circ$. Finalmente, verificou-se se o capeamento se apresentava plano e uniforme e se sua espessura média não era superior a 3 mm.

No momento da realização do ensaio de compressão, o teor de umidade relativa média, U_r , deve atender à condição de $(35 \pm 10)\%$, e deve ser determinado em três blocos que não tenham sido ensaiados à compressão. O resultado final é a média aritmética dos resultados individuais, em que a umidade relativa é calculada como:

$$U_r = \frac{m - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100 \quad \text{equação (1)}$$

m - massa do corpo de prova recebido no laboratório (kg)
m₁ - massa do corpo de prova seco em estufa (kg)
m₂ - massa do corpo de prova na condição saturada (kg)

Os blocos foram ensaiados em uma máquina de ensaio universal da classe I, em conformidade com os requisitos da NBR NM ISO 7500-1/2004, equipada com dois pratos de aço, um deles articulado, atuando na face superior do corpo de prova e capaz de aplicar uma carga na direção do esforço que o bloco deve suportar durante o seu emprego.

Durante o carregamento, os dispositivos de comando da prensa foram controlados de forma que a tensão aplicada, calculada em relação à área bruta, se elevasse progressivamente e sem choques à razão de $(0,25 \pm 0,05)$ MPa/s.

RESULTADOS

Na produção dos blocos, utilizou-se apenas a fração miúda do agregado de RCD, cuja granulometria está representada pela linha contínua na Figura 1. Pode-se observar que a curva granulométrica se ajustou bem aos limites (em vermelho) de distribuição granulométrica do agregado miúdo propostos pela NBR 7211/2005. Na Tabela 1 encontram-se os resultados da caracterização do agregado dos RCD.

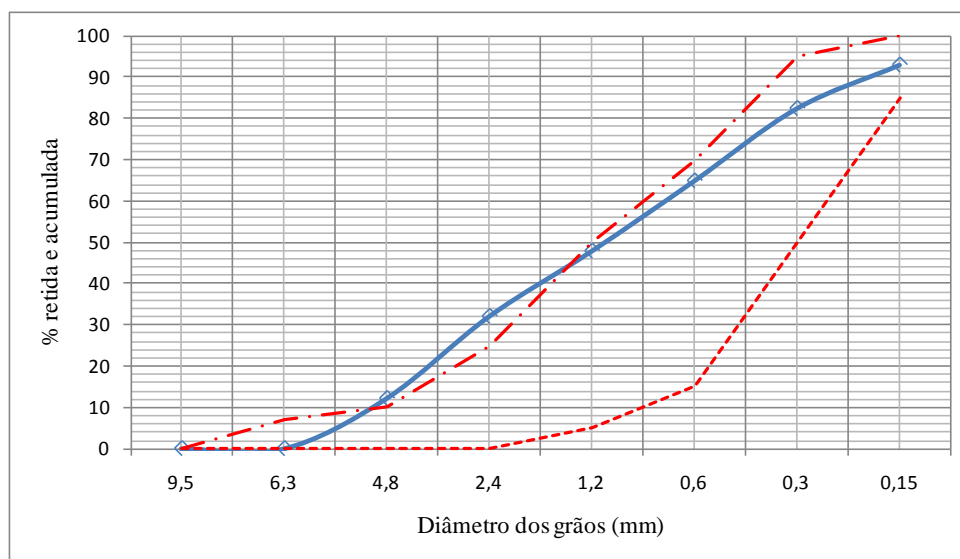


Figura 1. Curva granulométrica (azul) do agregado miúdo de RCD entre os limites propostos pela normatização.

Tabela 1: Caracterização dos materiais.

Material	Massa Específica Aparente (g/cm ³)	Massa Específica Seca (g/cm ³)	Massa Específica Saturada Superfície Seca (g/cm ³)	Teor de material pulverulento (%)	Módulo de Finura	Absorção (%)	Diâmetro Máximo característico (mm)
Agregado de RCD	-	-	-	5,6	3,99		12,5
Fração Miúda de RCD	2,11	2,57	2,30	-	-	8,50	-
Fração Graúda de RCD	1,99	2,57	2,22	-	-	10,72	-

O valor encontrado para o módulo de finura (3,99) corresponde, de acordo com Petrucci (1981), à classe de areia grossa/pedrisco.

O teor de material pulverulento nos agregados de RCD (5,6 %) foi determinado com base em duas amostras. Este valor é maior do que aquele estabelecido pela norma técnica ABNT NBR 7221/2005, que define um valor máximo de 5% para agregado oriundo de pedra britada ou seixo, para uso em concretos com acabamento superficial, e de 3% para concretos submetidos a desgaste superficial. De acordo com a NBR NM 46/2003, os resultados de duas determinações não devem divergir mais do que 0,5% para o agregado graúdo e de 1,0% para o agregado miúdo. Entretanto, por se tratar de material frágil e que se desintegra com relativa facilidade, pode-se considerar baixo o teor encontrado, não tendo influenciado no procedimento de confecção dos blocos.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 1, verifica-se que os valores de massa específica nas condições saturada superfície seca (SSS) e aparente divergiram entre as frações miúda e graúda. Como se trata do mesmo material, os valores deveriam ser aproximadamente os mesmos. A diferença pode ser atribuída à perda de pequena parte de material mais fino do agregado graúdo ao longo do processo de caracterização, pela facilidade que tem o material de se transformar em pó. Como as massas específicas na condição SSS e aparente para a fração graúda do agregado são menores do que para a fração miúda, a absorção é consequentemente maior.

Na Figura 2, apresentam-se os frascos com a solução de hidróxido de sódio a 3% colocada em contato com o agregado de RCD (direita) e com a solução padrão de ácido tânico a 2% (esquerda). A comparação colorimétrica entre as duas soluções mostra que a solução com agregado de RCD apresenta tonalidade mais clara, indicando que o teor de material orgânico presente neste agregado está dentro da faixa permitida em norma.

Na Tabela 2 encontram-se os resultados das dimensões médias dos blocos produzidos para cada um dos seis traços de concreto analisados. De acordo com a norma NBR 6136/2006, que estabelece as dimensões reais dos blocos vazados de concreto simples para alvenaria e sua designação, os blocos produzidos são classificados como da família M-15.

Na Tabela 3 encontram-se os valores limites para a resistência característica dos blocos (f_{bk}), de acordo com a NBR 6136/2006.

Na Figura 3 são apresentados os resultados médios dos ensaios de resistência à compressão, para cada traço de concreto.



Figura 2. Ensaio colorimétrico do teor de impurezas orgânicas do agregado produzido com RCD. À esquerda, solução padrão de ácido tânico a 2%. À direita, solução de hidróxido de sódio a 3% em contato com os RCD.

Tabela 2: Dimensões médias dos blocos produzidos

Material	Média	Desvio Padrão
Largura (mm)	385	0,7
Altura (mm)	186	2,3
Comprimento (mm)	142	0,4
Parede longitudinal (mm)	26	0,3
Parede transversal (mm)	22	0,5
Menor dimensão do furo (mm)	81	0,4

Tabela 3: Resistência característica dos blocos.

Classe	Resistência característica, f_{bk} (MPa)
A	$\geq 6,0$
B	$\geq 4,0$
C	$\geq 3,0$
D	$\geq 2,0$

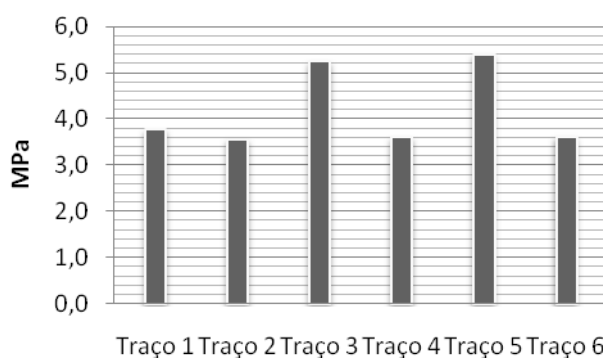


Figura 3. Resultados médios dos ensaios de resistência à compressão

Como não se conhece o desvio padrão de fábrica, deve-se calcular a resistência característica de cada lote, de acordo com o procedimento descrito na NBR 6136/2006.

O valor da resistência característica estimada ($f_{bk,est}$) é determinada por meio da equação 2.

$$f_{bk,est} = 2 \left[\frac{f_{b(1)} + f_{b(2)} + \dots + f_{b(i-1)}}{i - 1} \right] - f_{bi} \quad \text{equação (2)}$$

$i = n/2$, se n for par

$i = (n-1)/2$, se n for ímpar

$f_{bk,est}$ = resistência característica estimada da amostra (MPa)

$f_{b(1)}, f_{b(2)}, \dots, f_{b(i-1)}$ = valores de resistência à compressão individual dos corpos-de-prova da amostra, ordenados em ordem crescente (MPa)

n = número de blocos da amostra

A resistência característica da amostra (f_{bk}) não deve ser inferior ao valor de $f_{bk,est}$ e deve ser superior ao valor de $f_{(b1)} \cdot \psi$, em que o valor de ψ é definido de acordo com a Tabela 4 em função do número de blocos da amostra, n . No caso em estudo, $n=6$ e $\psi=0,89$.

Para os lotes ensaiados, os valores de resistência característica dos blocos (f_{bk}) encontram-se na Tabela 5 e na Figura 4.

Tabela 4: Resistência característica dos blocos.

Número de Blocos da amostra	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ψ	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01

Tabela 5: Resistência característica dos blocos.

Resistência (MPa)	Traço 1	Traço 2	Traço 3	Traço 4	Traço 5	Traço 6
$f_{bk,est}$	3,1	2,9	4,2	2,8	4,8	2,5
$f_{(b1)} \cdot \psi$	2,9	2,9	3,6	2,8	4,3	2,5
f_{bk}	2,9	2,9	3,6	2,8	4,3	2,5

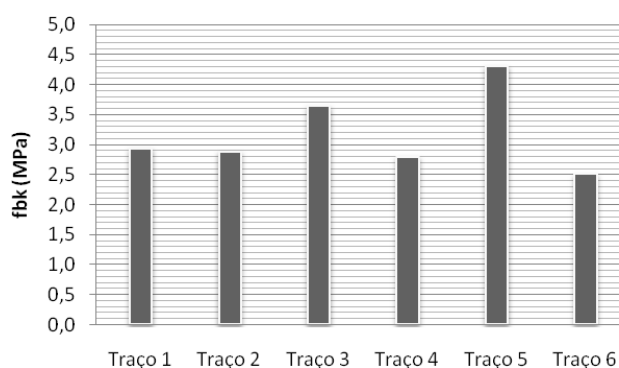


Figura 4. Resultados de resistência característica dos blocos produzidos.

Os valores de resistência característica se mostraram superiores ao mínimo definido na NBR 6136/2006, para a classe D ($\geq 2,0$ MPa). Valores menores de resistência à compressão eram esperados para os blocos produzidos com maiores percentuais de agregados de RCD. Entretanto, devido a sua menor relação água/cimento, verificou-se maior resistência característica para estes blocos. Salienta-se a dificuldade em estabelecer um valor limite para a relação água/cimento que leve à máxima resistência e para qual a consistência seja adequada para o processo de prensagem dos blocos.

CONCLUSÕES

Os resultados encontrados a partir de ensaios normatizados atestam a viabilidade técnica da utilização de agregados reciclados de resíduos oriundos de construções e demolições como produto alternativo à brita convencional na produção de blocos vazados de concreto simples para alvenaria de vedação.

A resistência mecânica à compressão, aos vinte e oito dias, para os blocos produzidos com diferentes traços, apresentaram resistência característica superior a 2,0 MPa, e absorção de água inferior a 16%, resultados em conformidade com o que estabelece a NBR 6136/2006.

Conclui-se, portanto, que a utilização racional e sustentável de materiais alternativos como os RCD é uma forma adequada de minimizar o passivo ambiental gerado por esse tipo de resíduo e, principalmente, de reduzir o consumo de recursos naturais não renováveis.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa de iniciação científica concedida ao primeiro autor, à empresa Premoldados Muriaé Ltda e à Universidade Federal de Viçosa pela estrutura concedida para a realização dos trabalhos e à FAPEMIG.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANGULO, S.C. Caracterização de Agregados de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados e a Influência de suas Características no Comportamento Mecânico dos Concretos. Tese de doutorado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2005, 149 p.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 12118: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.
_____. NBR 11578: Cimento Portland Composto. Rio de Janeiro, 1991.
_____. NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos. Rio de Janeiro, 2006.
_____. NBR 7211: Agregados para concretos - Especificação. Rio de Janeiro, 2005.
_____. NBR 7218: Agregado – Determinação teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 1987.
_____. NBR NM 248: Agregado – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
_____. NBR NM 26: Agregados - Amostragem. Rio de Janeiro, 2001.
_____. NBR NM 27: Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro, 2001.
_____. NBR NM 30: Agregado miúdo – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.
_____. NBR NM 46: Agregado – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.
_____. NBR NM 49: Agregado miúdo – Determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, 2001.
_____. NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.
_____. NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003.
_____. NBR NM ISO 3310-1: Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação. Parte 1 – Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico. Rio de Janeiro, 1997.
_____. NBR NM ISO 7500-1: Materiais metálicos – Calibração de máquinas de ensaio estático uniaxial. Parte 1 - Máquinas de ensaio tração/compressão – Calibração do sistema de medição da força. Rio de Janeiro, 2004.
3. AZEVEDO, G.O.D. et al. Resíduos da construção civil em Salvador: Os caminhos para uma gestão sustentável. Engenharia Sanitária e Ambiental. V. 11 - nº 1. – Rio de Janeiro/RJ: ABES, 2006. 65-72 p.
4. BERNUCCI, L.B. et al. Pavimento ecológico. Revista Técnica. 2009. Disponível em: <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/126/imprime62005.asp>. Acessado em: Jul/2009.
5. BOSCOV, M.E. Geotecnia Ambiental. Editora Oficina de Textos, São Paulo, SP, 2008, 248 p.
6. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução 307, de 05 de julho de 2002. Dispõe sobre a gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>. Acessado em: Jul/2009.
7. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução 348, de 17 de agosto de 2004. Altera a Resolução CONAMA Nº 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res04/res34804.xml>. Acessado em: Jul/2009.

8. GUSMÃO, A.D. Melhoramento de Terrenos Arenosos. In: Alexandre Duarte Gusmão; Jaime de Azevedo Gusmão Filho; Joaquim Teodoro Romão de Oliveira; Gilmar de Brito Maia, (eds.). Geotecnia no Nordeste, Editora da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, v. 1, 2005, 331-363 p.
9. 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. São Paulo, SP, 2000, 113 p.
10. LIMA, G. L. et al. Programa de gestão diferenciada de resíduos sólidos inertes em Santo André: Estação entulho. In: Simpósio Internacional De Qualidade Ambiental – Gerenciamento de Resíduos e Certificação Ambiental, 2., Porto alegre. Anais... Porto Alegre, 1998, 413-418 p.
11. MEDEIROS, J.S. Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1993, 449 p.
12. PETRUCCI, E. G. R. Concreto de cimento Portland. 8ª ed.. Porto Alegre - Rio de Janeiro, RJ, Editora Globo, 1981.
13. PINTO, T. P. Resíduos da Construção Civil: Soluções Sustentáveis para um grave problema urbano – Novas Normas, Legislação e soluções. São Paulo: Informações e Técnicas. 2005.
14. PINTO, T.P. Gerenciamento de resíduos. Revista Construção Mercado. São Paulo, n.91, fev. 2009, 16-17 p.
15. PINTO, T.P. Gestão Ambiental dos Resíduos da Construção Civil: A experiência do SINDUSCON – SP. São Paulo, 2005, 48p.
16. PINTO, T.P. Resíduos da construção civil – Nova legislação permite rápido avanço para normas técnicas e novas soluções. 2009. Disponível em: www.ietsp.com.br. Acessado: julho/2009.
17. SOUZA, J. G. G. Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto – Aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado. Tese (Mestrado em Estruturas) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Distrito Federal, DF, 2001. 120p.