

Estudo da resistência à compressão e da absorção de água em concretos produzidos com a adição conjunta de resíduos de construção e demolição e lodos de estações de tratamento de água

Study of the compression strength and water absorption of concretes produced with addition of construction and demolition rubble and sludge from water treatment stations

Almir Sales
João Sérgio Cordeiro
Francis Rodrigues de Souza

Almir Sales
Departamento de Engenharia
Civil
Universidade Federal de São
Carlos
Rodovia Washington Luiz, Km 235
Caixa Postal 676
CEP 13 567-800 - São Carlos, SP -
Brasil
Tel.: (16) 260 8262
E-mail: almir@power.ufscar.br

João Sérgio Cordeiro
Departamento de Engenharia
Civil
Universidade Federal de São
Carlos
Tel.: (16) 260 8262
E-mail: cordeiro@power.ufscar.br

Francis Rodrigues de Souza
Programa de Pós-Graduação em
Construção Civil
Universidade Federal de São
Carlos
Tel.: (16) 260 8262
E-mail: frs_fran@terra.com.br

Recebido em 15/04/04
Aceito em 02/08/04

Resumo

O presente trabalho apresenta um estudo da resistência à compressão simples e da absorção de água em concretos produzidos com a adição conjunta de resíduos da construção e demolição e lodos de estações de tratamento de água (ETAs), visando a constatar a possibilidade de substituição de agregados naturais (areia e brita 1) por resíduos poluentes como o lodo de ETAs e o entulho. Dessa forma, será possível minorar o impacto ambiental causado pela extração de agregados naturais, preservando-os para o uso de gerações futuras.

Palavras-chave: lodo, tratamento de água, entulho de construção, concreto.

Abstract

This paper presents the study of compression strength and water absorption of concretes produced with the addition of rubble from construction and demolition sites and sludge from water treatment plants, aiming to assess the possibility of replacing natural aggregates (sand and fine crushed stone) with those residues. Such replacement will make it possible to reduce the environmental impact caused by the extraction of natural aggregates, saving them for future generations.

Keywords: sludge, water treatment, construction rubble, concrete.

Introdução

No Brasil existem cerca de 7.500 estações de tratamento de água, chamadas de convencionais ou tradicionais, que geram rejeitos nos decantadores e nos filtros e os lançam diretamente nos cursos d'água mais próximos, agravando a questão ambiental.

Esses resíduos, segundo a NBR 10004 (ABNT, 1987b), são classificados como resíduos sólidos, e, portanto, o lançamento direto destes nos cursos d'água pode infringir a Lei nº 6.938 em seu artigo 3º, incisos II e III, e as agências de saneamento podem ser enquadradas como poluidoras, artigo 3º, inciso IV.

Nos últimos cinco anos, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) ligada à Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, tem intensificado a fiscalização sobre o lançamento de lodos gerados em estações de tratamento em corpos d'água, o que tem exigido das concessionárias de saneamento a busca de alternativas para a solução desse problema. Segundo Hoppen (2004), uma estação de tratamento de água convencional com capacidade de tratar 2.400 litros por segundo produz cerca de 1,8 tonelada de lodo por dia. Vale salientar que no Brasil a quantidade de lodo produzido em estações de tratamento de água não é comumente mensurada devido ao não-gerenciamento dos resíduos produzidos.

Dessa forma, as alternativas de disposição dos lodos tem sido: aterros sanitários; aterros exclusivos; disposição em áreas de reflorestamento e áreas agrícolas; e utilização no controle de sulfetos em sistemas de coleta, transporte e tratamento de esgoto.

Entretanto, devido ao fato de o gerenciamento de um aterro exigir um *know-how* muitas vezes não disponível numa concessionária de serviços de saneamento, de existir escassez de áreas para construção de aterros, especialmente nas zonas mais adensadas, onde são gerados os maiores volumes de lodo, e de o custo de disposição desses resíduos em aterros sanitários ser alto, essa alternativa deve ser a última a ser considerada.

Outro grave problema ambiental está relacionado aos resíduos da construção e demolição civil. Esses são geralmente lançados em terrenos baldios e até em margens de cursos d'água próximos aos centros urbanos, degradando o ambiente urbano, colaborando com enchentes, com a proliferação de vetores nocivos à saúde e com o desprendimento substancial de recursos do poder público.

A implantação de usinas de reciclagem iniciou-se no Brasil na década de 90, pelas administrações de municípios das regiões Sul e Sudeste. No entanto, só recentemente a operação de centrais de reciclagem de resíduos de construção e demolição civil começou a chamar a atenção do setor privado. Agora, após a Resolução nº 307 do CONAMA (BRASIL, 2002) ter entrado em vigor, as prefeituras passaram realmente a aplicar fundos nessa atividade, tendo como base o exemplo dos poucos municípios que começaram a investir na década de 90 e que, atualmente, produzem com esse material concreto e argamassa, e fabricam diversos componentes para alvenaria e infraestrutura urbana. Entre estes, destaca-se o município de Belo Horizonte, MG. Segundo dados da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (2004), 40% dos resíduos gerados diariamente na cidade, aproximadamente 1.500 toneladas, correspondem a resíduos de construção e demolição. De janeiro a setembro de 2003, foram produzidas 99.236 toneladas de material britado para utilização na construção civil. Em São Carlos, como na maioria das cidades brasileiras, não há um controle exato sobre as quantidades de resíduos de construção e demolição gerados, entretanto Schalch (1997), no Projeto de Redução e Coleta Seletiva dos Resíduos Sólidos gerados no município de São Carlos, estima que cerca de 435 toneladas sejam geradas diariamente.

A crescente aplicação de programas de qualidade na indústria da construção civil poderá contribuir significativamente para a redução do volume de entulho gerado, contudo resíduos continuarão a ser produzidos e, por mais que se racionalizem os processos construtivos, sempre haverá um montante de entulho inevitavelmente produzido.

Existem várias pesquisas publicadas sobre o uso de entulho como agregados e sobre o uso do lodo de ETAs, tanto como agregados para concreto como matéria-prima para cerâmica vermelha, entretanto o uso conjunto desses dois resíduos em concreto é pouco conhecido e carece de maior aprofundamento científico para que possam ser utilizados. O presente trabalho apresenta o estudo da resistência à compressão simples e da absorção de água de concreto reciclado com o uso conjunto desses dois resíduos.

A possibilidade de fabricação de produtos de concreto reciclados com resíduos de construção e demolição conjuntamente com lodo de estações de tratamento de água poderá não só beneficiar a população de baixa renda pela substituição dos agregados convencionais por agregados artificiais

de menor custo, como diminuir o impacto ambiental causado pela extração das matérias-primas naturais. Entre outras vantagens, destacam-se também a diminuição da proliferação de mosquitos e vetores nocivos à saúde como a dengue e a redução da interdição de vias e da obstrução de córregos e sistemas de drenagem, todos causados pela deposição irregular desses resíduos e responsáveis pelo grande aporte substancial de recursos do poder público.

Esta pesquisa foi desenvolvida no âmbito do projeto PROSAB 2/FINEP, no tema Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final.

Revisão bibliográfica

Caracterização e propriedades dos resíduos de estações de tratamento de água

Os resíduos de estações de tratamento de água são denominados lodos de estações de tratamento de água ou lodos de água e têm sua origem nos decantadores e filtros.

Segundo Cordeiro (1993), os lodos gerados pelas estações de tratamento de água que utilizam sulfato de alumínio como coagulante possuem coloração marrom, com viscosidade e consistência que lembram chocolate líquido, apresentando-se em estado gel quando em repouso e fluido quando submetidos a esforços cisalhantes. Um dos grandes problemas apresentados na caracterização do lodo de água é o não-conhecimento de algumas características dos sólidos, tais como tamanho e distribuição das partículas, resistência específica e compressibilidade.

Cordeiro (2001) relata que a característica do lodo varia dependendo das condições da água bruta, das dosagens de produtos químicos utilizados e das formas de limpeza dos decantadores e filtros. Relata também que as propriedades pH, turbidez, sólidos totais, sólidos suspensos, DQO e N variam em função das condições climáticas, ou seja, diferem no período seco e no período chuvoso, bem como a quantidade dos metais Al, Fe e Mn, o que é justificado pelo aumento do consumo de coagulante em épocas de chuva, quando a água contém maior teor de sólidos e contaminantes. Na Tabela 1 estão apresentadas as características dos lodos estudados na presente pesquisa.

Variáveis	Características do Lodo Bruto		
	Araraquara	Rio Claro	São Carlos
Concentração de Sólido em %	0,14	5,49	4,68
pH	8,93	7,35	7,2
Cor (uC)	10.650	*	*
	mg/L		
Turbidez (uT)	924	*	*
DQO	140	5.450	4.800
Sólidos Totais	1.620	57.400	58.630
Sólidos Suspensos	775	15.330	26.520
Sólidos Dissolvidos	845	42.070	32.110
Alumínio	2,16	30	11.100
Zinco	0,10	48,53	4,25
Chumbo	0,00	1,06	1,60
Cádmio	0,00	0,27	0,02
Níquel	0,00	1,16	1,80
Ferro	214	4.200	5.000
Manganês	3,33	30	60
Cobre	1,70	0,91	2,06
Cromo	0,19	0,86	1,58

* Estes valores são insignificantes em função da elevada concentração.
Fonte: Cordeiro (2001)

Tabela 1- Variáveis físico-químicas para o lodo das ETAs de São Carlos, Araraquara e Rio Claro

Freitas et al. (2003) destacam que a composição e as características do lodo gerado são função da dosagem de sulfato de alumínio, adição de álcalis e polieletrólitos, bem como do tipo de decantador utilizado, da forma de descarte e da presença de água de lavagem dos filtros, e que o volume gerado representa de 0,3% a 1% da água tratada, tendo como característica principal o baixo teor de sólidos, geralmente entre 1.000 e 40.000 mg/l (0,1 a 4%), e a alta concentração de hidróxidos metálicos, sendo mais comum os de alumínio. Destaca também que os sólidos suspensos representam cerca de 75% a 90% dos sólidos totais, enquanto os sólidos sedimentáveis representam de 20% a 35%, e que a alta DQO (demanda química do oxigênio) desses lodos demonstra que, apesar de pouco biodegradáveis, podem ser prontamente oxidáveis.

Pela NBR 10004 (ABNT, 1987b), esses lodos são classificados como “resíduos sólidos” e, portanto, devem ser tratados e dispostos conforme exigência dos órgãos reguladores. Há muito tempo, o destino dos resíduos de uma estação de tratamento vem sendo os cursos d’água próximos às estações, no entanto a crescente preocupação e a regulamentação têm restringido ou proibido essa disposição. Tal prática tem sido questionada por órgãos ambientais devido aos riscos à saúde e ao meio ambiente. Cordeiro (2001) salienta que nos Estados Unidos as ETAs são classificadas como indústrias e, assim sendo, seus resíduos devem ser tratados e dispostos convenientemente.

Segundo Buttler e Sales (2000), um exemplo de dano ao corpo receptor devido a essa prática é a redução de oxigênio dissolvido nas massas líquidas pela decomposição da matéria orgânica contida nesse resíduo, causando o ambiente anaeróbico bem como o acúmulo deste no fundo.

Caracterização e propriedades dos resíduos da construção e demolição civil

Pinto (1989) caracterizou os resíduos de construção e demolição gerados em São Carlos/SP, através da coleta de trinta e três amostras nos depósitos espalhados pelo município em 1985. Pelos resultados obtidos, observou-se que os materiais mais presentes no resíduo de construção e demolição são as argamassas e os componentes cerâmicos, com presença significativamente maior das primeiras.

Segundo Schulz e Hendricks (1992), os resíduos de construção são, em geral, formados por vários materiais, que apresentam propriedades diferenciadas, como resistência mecânica, absorção de água, etc. As propriedades dos

componentes dos resíduos determinam as propriedades do reciclado.

Freitas et al. (2003) destacam que o entulho da construção, de maneira geral, pode ser enquadrado pela NBR 10004 (ABNT, 1987b) como resíduo inerte, porém se deve verificar que existem elementos que o tornam não inerte ou perigoso, como o amianto. No presente trabalho, não foi realizada a verificação da presença de elementos que poderiam modificar a classificação do entulho de inerte para não inerte ou perigoso, devido ao conhecimento e seleção da fonte de onde ele foi retirado para a adição conjunta com o lodo seco de ETAs e o estudo da resistência à compressão simples e da absorção de água.

Propriedades de concretos e argamassas com agregados reciclados

Para que se aplique o reciclado em concretos, é necessário que o material atenda a algumas especificações básicas. Hansen (1992) afirma que, embora as especificações variem de país para país, pode-se identificar exigências gerais a que qualquer agregado deve atender: deve ser suficientemente resistente para o uso no tipo de concreto em que for usado; deve ser dimensionalmente estável conforme as modificações de umidade; não deve reagir com o cimento ou com o aço usado nas armaduras; não deve conter impurezas reativas; e deve ter forma de partículas e granulometria adequada à produção de concreto, com boa trabalhabilidade.

Resistência à compressão

Mehta e Monteiro (1994) dividem o concreto em três categorias: concreto de baixa resistência, para concreto com resistência à compressão menor que 20 MPa; concreto de resistência moderada, para concreto com resistência à compressão entre 20 e 40 MPa; e concreto de alta resistência, para concreto com resistência à compressão acima de 40 MPa. Helene e Terzian (1992) confirmam que a resistência para garantir a viabilidade do concreto deve ser superior a 20 MPa. Segundo Neville (1997), a maioria das características desejáveis do concreto está relacionada com a resistência.

Segundo Hoppen (2004), que estudou a incorporação de lodo em concretos convencionais, em comparação com o traço padrão utilizado (relação entre água e cimento: 0,5; teor de agregados miúdos: 40,4%; teor de agregados graúdos: 59,6%; e relação entre cimento e agregados totais: 0,2), a adição de 4% de lodo em relação ao peso da areia proporcionou uma redução média de 21,9% na resistência à

compressão axial aos 28 dias, e a adição de 8%, uma redução média de 23,3%, entretanto, mesmo com essas reduções, os corpos-de-prova atingiram valores superiores a 30 MPa.

Segundo Lima (1999), concretos com reciclado apresentam, em geral, resistência à compressão menor ou igual à dos concretos convencionais para consumos de cimento médios ou altos. Para baixos consumos, podem apresentar resistência maior que os convencionais. A diferença entre a resistência à compressão de concretos com reciclado e convencionais varia com o tipo de reciclado, sua qualidade e com o consumo de cimento.

Resíduos reciclados de alvenaria são, em geral, menos resistentes e mais porosos que os de concreto, e por isso levam a maiores perdas de resistência do novo concreto. Schulz e Hendricks (1992) afirmam que, para se obter a mesma resistência do concreto convencional, o consumo de cimento do concreto com reciclado de alvenaria deve ser 20% maior.

Absorção de água

Lima (1999) afirma que, sendo o agregado reciclado mais absorvente que o convencional, concretos e argamassas com o material reciclado apresentam absorção maior que o convencional e que, utilizando reciclado de concreto, a absorção tende a ser menor que quando se usa reciclado de alvenaria, embora ainda maior que a de concretos convencionais.

Informações Técnicas em Construção Civil (1991) relata, entre outras propriedades, a absorção de água de concretos com reciclados de alvenaria, de dois tipos: composto predominantemente de argamassas e concretos (Resíduo 1); e composto predominantemente de materiais cerâmicos (Resíduo 2). As absorções de concretos convencionais com consumos entre 200 e 400 kg/m³ situaram-se entre 5,8% e 8,1%, enquanto as de concreto com Resíduo 1 e Resíduo 2 apresentaram valores médios próximos a 11% e 13%, respectivamente.

Segundo Hoppen (2004), a adição de lodo acima de 5% em relação ao peso da areia em concretos convencionais promove uma elevação drástica dos valores de absorção e índice de vazios. A absorção após imersão em água passou de 7,8% em concretos com 5% de lodo para 8,62% em concretos com 7% de lodo. O índice de vazios passou de 16,51% em concretos com 5% de lodo para 17,87 em concretos com 7% de lodo. A explicação mais provável para esse aumento abrupto de ambos os parâmetros vem do fato de que o lodo passa a se comportar como uma “esponja” no interior do concreto, fazendo com

que a água penetre o material com maior facilidade, ou sobre dissolução pela imersão em água.

Desenvolvimento e resultados obtidos na pesquisa

Os experimentos da pesquisa foram realizados com resíduos resultantes de três estações convencionais ou tradicionais de tratamento de água. Essas estações, situadas na região central do estado de São Paulo, têm vazões de produção ligeiramente próximas, em torno de 500 l/s. Os sistemas estudados foram os das cidades de São Carlos, Araraquara e Rio Claro. Desse modo, os resultados obtidos permitiram avaliar com maior abrangência as possibilidades de aplicação dos resíduos em estações de tratamento de água que utilizem formas de processamento e operação similares.

Os sólidos resultantes do processo de secagem do lodo foram destorroados e peneirados até atingir granulometria adequada.

O entulho coletado na região de São Carlos foi separado em resíduos de material cerâmico (provenientes de restos de telhas, blocos e lajotas cerâmicas) e material proveniente de argamassas e concretos endurecidos. Em seguida, esse entulho separado foi moído com o auxílio de um moinho do tipo mandíbula, até se atingir granulometria condizente com as aplicações propostas.

Dando continuidade à reciclagem do entulho, procurou-se separar os resíduos moídos em frações similares às faixas granulométricas de um agregado natural utilizado como referência. Para o agregado miúdo, utilizou-se a areia de rio classificada como média, e para o agregado graúdo, adotou-se a brita número 1, com dimensão máxima característica de 19 milímetros.

Em seguida, esses materiais foram misturados com adição de cimento Portland CPM F32 em dosagens estudadas para verificar a viabilidade técnico-econômica da utilização desses resíduos como agregado na confecção de concreto não-estrutural.

Na produção de concretos com resíduos, manteve-se a mesma consistência do traço referência, (40 ± 10) mm, obtida segundo a NBR NM 67 (ABNT, 1998). Salienta-se que no presente estudo foram utilizados traços usuais relacionados às aplicações não-estruturais de concretos.

Na continuidade da experimentação, foram moldados corpos-de-prova cilíndricos de concreto de 15 cm x 30 cm, com as dosagens apresentadas na Tabela 2, e com estes foram realizados ensaios de resistência à compressão e absorção de água, segundo as respectivas normas NBR 5739 (ABNT,

1994) e NBR 9778 (ABNT, 1987a). Salienta-se também que o procedimento de cura foi realizado em câmara úmida.

Em função dos resultados obtidos, pôde-se analisar a viabilidade técnica da aplicação de concreto composto pela adição conjunta de entulho e lodo de ETAs.

Estudo da imobilização do lodo em matrizes de concreto

Na Tabela 2 estão apresentados os valores referentes aos traços utilizados na presente pesquisa. Nas Tabelas 3 e 4 estão apresentados, respectivamente, os resultados da análise granulométrica da areia grossa do rio Mogi e da brita 1, agregados naturais, cuja granulometria serviu de referência para a substituição por entulho e lodo de ETAs. Como resultado preliminar, foi verificado que o uso de entulho de material cerâmico em conjunto com o lodo seco revelou

aspectos negativos para a resistência de concretos. Isso pode estar relacionado à presença de materiais cerâmicos polidos, que induziram à ocorrência de superfícies de ruptura nas suas faces lisas, devido à aderência insuficiente entre essas faces e a pasta de cimento, conseqüentemente enfraquecendo a zona de transição. Os resultados preliminares também permitiram aferir que adições de lodo com melhor desempenho localizaram-se na faixa de adição entre 1% e 5% em relação ao agregado miúdo.

Em função dos resultados obtidos, pôde-se analisar a viabilidade técnica da aplicação de concreto composto pela adição conjunta de entulho e lodo de ETAs.

Finalizando a experimentação, foram realizados ensaios de resistência à compressão e absorção para lodos provenientes de outras estações de tratamento de água, utilizando-se os mesmos traços de concreto estudados, com o intuito de verificar a variabilidade desse tipo de resíduo em relação à sua origem.

Traço de Referência 1:4,60:5,96 (Areia do Rio Mogi e Brita 1)						
Cimento (g)	Areia Grossa (g)	Brita 1 (g)	Lodo (g)	Relação a/c	Água (g)	Consistência (mm)
500	2300	2980	-	0,95	475	40 ± 10
Traço de Referência com 3% de Lodo Substituindo o Agregado Miúdo						
Cimento (g)	Areia Grossa (g)	Brita 1 (g)	Lodo (g)	Relação a/c	Água (g)	Consistência (mm)
500	2231	2980	60	0,97	485	40 ± 10
Traço de Referência com Agregado Miúdo e Graúdo de Entulho de Concreto e 3% de Lodo substituindo o Agregado Miúdo						
Cimento (g)	Areia Grossa (g)	Brita 1 (g)	Lodo (g)	Relação a/c	Água (g)	Consistência (mm)
500	2231	2980	69	1,38	690	40 ± 10

Tabela 2 - Valores referentes aos traços utilizados

Peneiras (mm)	Peso Retido (g)	Porcentagem (%)	
		Retida	Acumulada
9,5	0	-	-
6,3	5	1	1
4,8	7	1	2
2,4	36	4	6
1,2	207	21	27
0,6	234	23	50
0,3	287	28	78
0,15	176	17	95
Resíduo	48	5	100

Tabela 3 - Porcentagens Retidas e Acumuladas da Areia Grossa do Rio Mogi

Peneiras (mm)	Peso Retido (g)	Porcentagem (%)	
		Retida	Acumulada
25	0	-	-
19	0	-	-
9,5	8413	84	84
6,3	1521	15	99
4,8	66	1	100
2,4	0	-	100
1,2	0	-	100
0,6	0	-	100
0,3	0	-	100
0,15	0	-	100
Resíduo	0	-	100

Tabela 4 - Porcentagens Retidas e Acumuladas da Brita 1

Resistência à compressão para concretos com lodo de água e entulho

Em relação aos valores obtidos com o concreto referência utilizando-se agregados naturais, o concreto com adição de 3% de lodo (em relação à massa do agregado miúdo) apresentou redução insignificante dos valores aos 7 e 28 dias de cura. Por esse motivo, em termos de resistência mecânica, a adição de 3% de lodo em relação ao agregado miúdo natural possibilita a obtenção de concretos com características mecânicas similares às características do concreto usual.

Na Figura 1, é possível observar o efeito da incorporação do lodo em relação à resistência à compressão e compará-lo aos valores obtidos com o concreto referência.

A substituição de agregados naturais por agregados artificiais reciclados de entulho e 3% de lodo de ETA permitiu o ganho de 14,3%, em relação à resistência do concreto referência. Possivelmente, esse comportamento esteja ligado aos efeitos de atração física entre a porção fina das partículas de entulho (forças de Van der Waals), que são inversamente proporcionais ao diâmetro delas, que obturam os poros e possibilitam maior compactação à microestrutura da pasta cimentícia (grãos da mesma ordem do cimento, ou seja, efeito Filler).

Os resultados obtidos para a resistência à compressão de concretos com lodo de diferentes estações de tratamento de água evidenciaram a não-influência da variação do tipo de lodo na resistência mecânica dos traços estudados. Além disso, ratificou-se a proporção de 3% de adição de

lodo em relação ao agregado miúdo como sendo o valor otimizado para a obtenção de melhores características mecânicas.

Absorção de água para concretos com lodo de água e entulho

Na Figura 2 apresenta-se o efeito da incorporação do lodo em relação ao da absorção de água e compará-lo aos valores obtidos com o concreto referência.

Conforme pode ser observado na Figura 2, a absorção de água do concreto com adição conjunta de entulho e 3% de lodo seco aumentou em 2% em relação ao concreto referência, entretanto não elevou os valores a níveis que poderiam prejudicar a aplicação de concretos assim produzidos.

Observou-se que os valores da relação entre água e cimento nas misturas com resíduos, mantida a mesma consistência do traço referência, são bem maiores que os comumente empregados na confecção das misturas de referência. Tal fato decorre da grande capacidade de absorção do entulho, bem superior à do agregado tradicional, devido tanto à sua grande porosidade quanto pela maior quantidade de finos existentes nos resíduos, inclusive no lodo seco utilizado.

A variação do tipo de lodo não alterou de modo significativo a absorção dos concretos estudados, dentro das mesmas composições, tanto com agregados naturais como com agregados reciclados. Além disso, ratificou-se a proporção de 3% de adição de lodo em relação ao agregado miúdo como sendo o valor otimizado para a obtenção de melhores características de absorção.

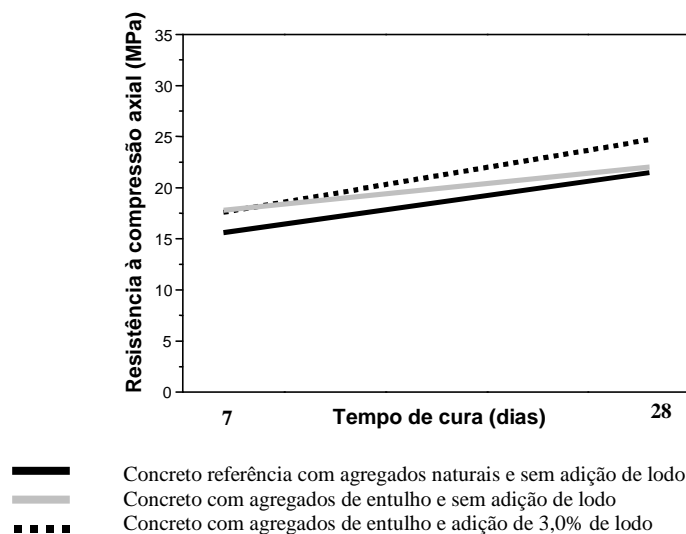


Figura 1 - Gráfico da resistência à compressão para os concretos contendo agregados naturais e reciclados com e sem adição de lodo

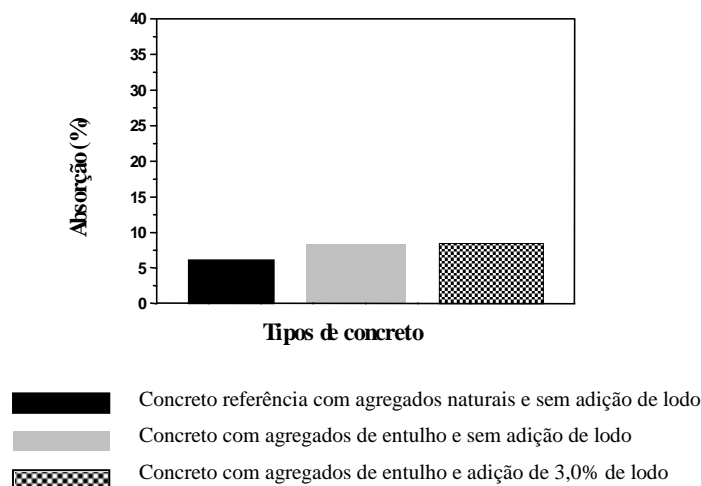


Figura 2 - Gráfico da absorção de água para os concretos contendo agregados naturais e reciclados com e sem adição de lodo

Considerações finais

A imobilização de resíduos sólidos de estações de tratamento de água em conjunto com agregados reciclados em matrizes de concreto pode ser viável em diversas aplicações não-estruturais na construção civil, conforme os resultados da presente pesquisa. Entretanto, futuras pesquisas de análise ambiental e econômica devem ser realizadas antes de tornar viável essa aplicação. A seguir, seguem observações de aspectos operacionais e econômicos.

Aspectos operacionais e econômicos

A produção de agregados naturais para a produção de concretos incorpora uma parcela acentuada de gastos relativos ao transporte da matéria-prima (areia e brita). Atualmente, o custo do transporte desses materiais da fonte até o local de aplicação é superior ao da própria extração, principalmente nos grandes centros. Dessa forma, a utilização de agregados artificiais, que podem ser produzidos em usinas próximas ao local de aplicação, reduziria significativamente esses custos. O mesmo raciocínio pode ser utilizado para a

reciclagem do lodo proveniente de estações de tratamento de água, instalando-se secadores de resíduo próximos aos decantadores.

Segundo Freitas et al. (2003), o aterro sanitário apresenta-se como uma alternativa ainda viável para a disposição de lodos de estações de tratamento de água. Nos EUA, dentro das práticas de disposição de lodo, o aterro municipal é adotado em 20,7% das cidades com 100.000 habitantes, e, devido principalmente ao seu elevado custo, essa disposição é a última a ser considerada.

Os novos produtos reciclados com resíduos de estações de tratamento de água e resíduos da construção e demolição civil poderão beneficiar a população de baixa renda, uma vez que, ao serem confeccionados com agregados artificiais de custo inferior aos agregados convencionais, reduzirão o preço final da obra.

A aplicação dos conhecimentos produzidos em pesquisas dessa natureza possibilitará, em um futuro próximo, realizar-se a seleção de materiais para a construção civil com base não só em critérios econômicos e estéticos, mas também condicionada ao contexto do impacto ambiental de sua deposição e das possibilidades de reciclagem com outros resíduos.

O presente trabalho mostra que agregados naturais podem ser substituídos por agregados artificiais poluentes como o entulho e o lodo de ETAs, inclusive por adição conjunta deles. Entretanto, análises futuras comparando o valor de mercado do produto, com base na quantidade possível de substituição, com os custos da reciclagem e da disposição em aterro devem ser realizadas.

Aspectos ambientais

A extração de matérias-primas naturais, como a areia e a pedra britada, produz intenso impacto ambiental em rios e mananciais, provocando o assoreamento de rios e córregos, e contribuindo para a ocorrência de enchentes.

A construção civil é uma das maiores consumidoras de matérias-primas naturais e utiliza algo entre 20% e 50% do total de recursos naturais consumidos pela sociedade. John (1997) destaca que, durante a vida útil de um edifício, as manutenções necessárias podem consumir recursos em volume aproximadamente igual aos usado na fase de produção, o que também gera poluição.

O uso alternativo de agregados artificiais, como resíduos de estações de tratamento de água e resíduos da construção e demolição civil, para a produção de concretos reduzirá a necessidade de matérias-primas naturais e, dessa forma, os impactos resultantes da sua extração.

Os aterros clandestinos têm obstruído córregos e sistemas de drenagem, colaborando com enchentes, além de favorecer a proliferação de mosquitos e outros vetores nocivos à saúde, responsáveis por diversas doenças, como a dengue, que é responsável pelo aporte substancial de recursos do poder público. Muitas vezes, a deposição irregular provoca a interdição de vias, degradando o ambiente urbano.

Salienta-se que o resíduo reciclado é produtivo e não ocupa espaço em depósitos clandestinos e aterros sanitários, entretanto, em pesquisas futuras, devem ser realizados ensaios que comprovem quanto esses resíduos estão estabilizados, entre eles ensaios de lixiviação, porosimetria e difração de raios X.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecido: determinação da absorção de água por imersão. Rio de Janeiro, 1987a.

_____. **NBR 10004**: CB155: Resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 1987b.

_____. **NBR 5739**: Concreto: ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR NM 67**: Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução n. 307, de 05 de julho de 2002**. CONAMA, 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>. Acesso em: 20 ago. 2004.

BUTTLER, A. M.; SALES, A. Codisposição de lodo de ETA's em matrizes de concreto e argamassa. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, 7., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000.

BUTTLER, A. M.; FREITAS, A. A.; CORDEIRO, J. S.; SALES, A. Codisposição de lodos de ETA's em matrizes de cimento e reaproveitamento de

resíduos da Construção Civil. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 6., 2003, São Paulo. **Materiais reciclados e suas aplicações**. São Paulo: IBRACON, 2003.

CORDEIRO, J. S. **O problema dos lodos gerados em decantadores de estações de tratamento de águas**. 1993. 342 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

_____. Processamento de lodos de estações de tratamento de água (ETAs). In: ANDREOLI, C. V. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. São Carlos: Rima, 2001. cap. 5.

FREITAS, A. A.; BUTTLER, A. M.; CORDEIRO, J. S.; SALES, A. Remoção do lodo de ETA's em leitos de secagem modificados. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 6., 2003, São Paulo. **Materiais reciclados e suas aplicações**. São Paulo: IBRACON, 2003.

HANSEN, T. C. **Recycling of demolished concrete and masonry**. Londres: Spon, 1992.

HELENE, P. TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: Pini, 1992.

HOPPEN, C. **Reciclagem de lodo de ETA centrifugado na construção civil: método alternativo para preservação ambiental**. 2004. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

INFORMAÇÕES TÉCNICAS EM CONSTRUÇÃO CIVIL. **Relatório final das atividades de estudo da viabilidade técnico-econômica da reutilização de resíduos de Santo André**. São Paulo, 1991. (Documento Interno).

JOHN, V. M. **Reciclagem na construção civil: alternativa econômica para proteção ambiental**. In: RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 1997. São Paulo. **Alternativa econômica para proteção ambiental**. São Paulo: EPUSP, 1997. p.67-76.

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretores e elaboração de textos básicos para normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. 1999. 240 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estruturas, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. Tradução Salvador E. Giammusso. 2. ed. São Paulo: Pini, 1997.

PINTO, T. P. **Utilização de resíduos de construção: estudo do uso em argamassas**. 1989. 140 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. **Reciclagem de entulho da construção civil**. Secretaria Municipal de Limpeza Urbana, 2004. Disponível em: <<http://www.pbh.gov.br/limpezaurbana/reciclaent.htm>>. Acesso em: 20 ago. 2004.

SCHALCH, V. **Projeto de Redução e de Coleta Seletiva dos Resíduos Sólidos Gerados no Município de São Carlos**. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos: Fundação para o Incremento à Pesquisa e Aperfeiçoamento, 1997. 10 p. (Primeiro Relatório apresentado à Prefeitura Municipal de São Carlos, 1997.)

SCHULZ, R. R.; HENDRICKS, F. **Recycling of masonry rubble: recycling of demolished concrete and masonry**. Editado por T. C. Hansen. Londres: Spon, 1992. Part 2.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto**. 1997. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da FINEP (PROSAB 2), CNPq e CAPES.