

III-294 – USO DE AREIA RECICLADA DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL EM ENVOLTÓRIAS DE REDES DE ÁGUA E ESGOTO

Mauricio Izidoro

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de São Carlos. Pós-graduado em Gestão Ambiental pela Universidade Federal de São Carlos

Endereço: Rua Cabo Joao Teruel Fregoni,307 – Ponte Grande-Guarulhos-SP-CEP 07032-000-Brasil-Tel: +55 (11)96687-2016 – email: mizidoro@sabesp.com.br

RESUMO

Ao longo da história humana temos visto um grande êxodo rural com conseqüente crescimento desordenado das cidades, tendo o setor de Construção Civil assumido um importante papel no fornecimento de abrigo, conforto e qualidade de vida ao homem.

Com a crescente expansão demográfica e conseqüente necessidade de exploração dos recursos naturais existentes, torna-se urgente a adoção de medidas mitigadoras dessa exploração, bem como a proposição de alternativas para reutilização e reciclagem dos resíduos gerados pela população.

O presente trabalho busca mais uma dessas alternativas de reciclagem para o RCC gerado na região metropolitana da cidade de São Paulo, contribuindo para a diminuição da pressão sobre a extração de agregado natural, uma vez que propõe a utilização de areia reciclada de RCC no confinamento de redes de água e esgoto, tanto para manutenção de redes existentes como na expansão de novas redes.

Sendo a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP responsável pela manutenção e expansão de todas as redes de água e esgoto na região metropolitana da cidade de São Paulo, região que conta hoje com 19,5 milhões de habitantes, torna-se fundamental o papel dessa companhia na realização de obras sustentáveis, bem como a natural polarização do setor de saneamento em torno de soluções técnicas ambientalmente corretas.

Aplicando-se a areia reciclada de RCC em uma envoltória de tubulação e comparando-se com a aplicação em envoltória de areia natural comprovou-se a viabilidade técnica no uso da areia reciclada através de ensaios de granulometria e compactação.

PALAVRAS-CHAVE: Areia Reciclada, RCC, Rede de Água, Rede de Esgoto, Valas.

INTRODUÇÃO

De acordo com o IBGE a cidade de São Paulo tem hoje cerca de 11 milhões de habitantes. Com esse crescimento populacional nos últimos anos de forma completamente desordenada, a cidade tem sido palco de inúmeros problemas estruturais como trânsito caótico, falta de hospitais e escolas, transporte público inadequado, etc.

Aliado ao alto adensamento populacional tivemos nos últimos anos um boom imobiliário alavancado pela grande oferta de financiamentos e programas populares de moradia que transformaram a cidade em um canteiro de obras. A falta de políticas públicas para enfrentar os problemas da cidade tornou-se nítida quando vivenciamos a problemática dos resíduos de construção e demolição gerados e seu descarte ilegal contribuem para o surgimento de aterros clandestinos, entupimento de sistemas de drenagem, assoreamento de rios, que colaboram nas causas de enchentes, e favorecem a proliferação de mosquitos e outros vetores.

Essa grande quantidade de resíduos de construção e demolição representa um alto custo social e econômico para a cidade de São Paulo tornando o gerenciamento desses resíduos uma tarefa altamente complexa e onerosa.

Para enfrentar o problema de gerenciamento dos Resíduos de Construção e Demolição, os chamados RCC, uma das alternativas é a reciclagem massiva desses resíduos em usinas recicladoras especializadas que transformam o que foi descartado em novos materiais utilizados em sua maioria novamente na construção civil na forma de agregados. Mas para estes agregados voltarem ao ciclo produtivo, eles devem ter aplicações técnicas bem definidas e preço altamente competitivo em relação aos agregados naturais.

A aplicação sugerida neste trabalho contribui para o aumento do leque de aplicações para o agregado reciclado em sua forma bruta, ou seja, tendo sido apenas peneirado, não necessitando do uso de técnicas de separação utilizadas em mineração, que tem grande consumo de água e geram grande quantidade de rejeito.

Este trabalho tem também um foco de cunho ambiental, pois utilizando a areia reciclada em detrimento da areia extraída da natureza, há a direta diminuição da pressão sobre as reservas de areia, diminuindo também os impactos ambientais graves causados pela extração em rios.

Outro ponto relevante no uso da reciclagem para agregados reside na contribuição para o aumento da vida útil dos aterros de inertes, que contam com um fim muito próximo e distâncias para sua instalação cada vez maiores dificultando o transporte e aumentando os custos para disposição.

Aplicando a areia reciclada no confinamento de redes de água e esgoto teremos mais uma aplicação contribuinte para a reciclagem de RCC, pois a SABESP hoje tem responsabilidade direta pela manutenção de cerca de 60.000 Km de redes de água e 40.000 Km de redes de esgoto, além das redes que são assentadas todos os dias.

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar a possibilidade de utilização da areia reciclada a partir de resíduos gerados pela construção civil como substituto, total ou parcial, do agregado natural aplicado em envoltórias de tubulações de água e esgoto.

Como objetivo específico este trabalho visa avaliar algumas propriedades físicas dos agregados produzidos a partir do resíduo de construção e demolição, comparando os resultados obtidos com as especificações da Norma Brasileira para agregados naturais (granulometria, massa específica, grau de compactação) fazendo uma comparação entre a areia reciclada de RCC e a areia natural sob as mesmas condições de aplicação em envoltórias de redes de água e esgoto.

METODOLOGIA UTILIZADA

Inicialmente foi feita a pesquisa bibliográfica sobre a utilização de Resíduos de Construção Civil (RCC) em tipologias variadas de obras, uma vez que existem poucas referências para o tema deste trabalho. Na pesquisa bibliográfica foram estudados outros temas pertinentes como caracterização dos agregados, métodos de cálculo das interações solo-tubo, as formas de exploração da areia natural.

O objeto de estudo foi uma obra de intervenção realizada pela Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo - SABESP com a finalidade de instalar um conjunto moto bomba de grande porte em uma rede de água existente, melhorando as condições de abastecimento em Osasco e região.

A etapa construtiva foco deste trabalho foi a confecção de envoltória com areia reciclada de RCC em substituição a areia média lavada que é comumente utilizada pela empresa. Foram coletadas amostras em campo quando da realização da obra e estas foram analisadas por laboratório acreditado.

Os resultados obtidos com a envoltória de areia reciclada mostraram-se bastante promissores nos ensaios de laboratório e nos ensaios de acompanhamento de campo realizados após a obra.

REFERENCIAL TEÓRICO

Produção Brasileira de Agregados

As reservas minerais de areia, de modo geral, são abundantes no Brasil. Existem regiões, no entanto, onde as reservas estão distantes do centro consumidor tendo-se que transportar o material por distâncias superiores a 100 km.

Muitas vezes as restrições ambientais e leis de zoneamento municipal impossibilitam a exploração de excelentes reservas, restringindo o uso do bem mineral.

A mineração de areia e brita está espalhada por todo o território nacional e é uma das mais importantes atividades extrativas do setor mineral brasileiro, devido ao volume produzido comparável ao volume de produção do minério de ferro, principal produto mineral brasileiro.

Com relação à produtividade, a mineração brasileira de agregados tem muito a desenvolver, se comparada a dos países da Europa Ocidental e dos EUA, onde a mão de obra é treinada e grandes investimentos são feitos na modernização das instalações de produção.

Um dos maiores problemas encontrados nas análises que envolvem os agregados para a construção civil é a falta de uma base estatística confiável, uma vez que existe um elevado grau de ilegalidade devido a empresas clandestinas que operam nesse mercado. Além disso os dados divulgados são recolhidos através de relatórios elaborados com base nos questionários respondidos pelas empresas legalizadas do setor.

As principais fontes estatísticas para a análise de agregados foram os Relatórios Anuais de Lavra - RAL. Nos últimos dez anos, outras fontes têm sido utilizadas como base para o levantamento de dados para a areia e brita, como as associações de produtores, que fornecem as estimativas de produção. Assim, para a brita, o Sindipedras/SP foi responsável pela estimativa durante algum tempo. Atualmente, a Associação Nacional das Entidades Produtoras de Agregados para Construção Civil - ANEPAC faz estimativa tanto para a brita como para a areia.

A areia é extraída de leito de rios, várzeas, depósitos lacustres, mantos de decomposição de rochas, pegmatitos e arenitos decompostos. O Sumário Mineral (2007) afirma que, em 2006 foram produzidos 212 milhões de toneladas de areia. No Brasil, 90% da areia é produzida em leito de rios, sendo que no Estado de São Paulo, maior produtor brasileiro, a relação é diferente, 45% da areia produzida é proveniente de várzeas, 35%, de leitos de rios, e o restante, de outras fontes. O estado responde por 39% da produção nacional, seguido de Rio de Janeiro (16%), Minas Gerais (12,5%), Paraná (6,5%), Rio Grande do Sul (4,2%) e Santa Catarina (3,5%).

O frete é um dos principais itens dos custos das pequenas empresas do segmento de areia, chegando a representar cerca de 40% do preço final, obrigando o produtor a operar próximo aos centros consumidores, localizando-se a atividade mineradora nas regiões limítrofes das grandes cidades, que, com o inevitável crescimento urbano, inicia-se os conflitos com a comunidade vizinha e com os órgãos ligados ao meio ambiente.

Areia manufaturada

Atualmente, 90% da produção nacional de areia natural tem sido obtida a partir da extração em leito de rios e os 10% restante, de outras fontes.

A exploração de areia realizada em rios e outros ambientes de sedimentação, causa sérios impactos sobre o meio ambiente, em consequência da retirada da cobertura vegetal nas áreas a serem lavradas, causando assoreamento nos rios e consequentemente a degradação do curso d'água. Por isso, esta atividade extrativa tem sido cada vez mais coibida pelos órgãos responsáveis pela fiscalização do meio ambiente.

A exaustão de áreas próximas aos grandes mercados consumidores e a restrição ambiental tem resultado no deslocamento dos mineradores para locais cada vez mais distantes dos grandes centros urbanos, o que onera o preço final da areia natural, visto que a distância entre produtor e consumidor tem sido em média 100 km, aumentando o custo do frete e, consequentemente o preço do produto final.

Consumo no Brasil

Segundo a Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas da Universidade de São Paulo (FIPE), o consumo médio de agregados no Brasil é:

- Autoconstrução (unidade de 35 m²) → são consumidas 21 t de agregados;
- Habitações populares de 50 m² → são consumidas 68 t de agregados;
- Manutenção de vias municipais se consome 100 t/km, enquanto as estradas demandam cerca de 3.000 t/km;
- Uma obra-padrão de 1.120 m² para escolas é consumido 985 m³ de agregados ou 1.675 t (IBGE);
- Na pavimentação urbana, o consumo por metro quadrado varia de cidade de baixa densidade para a de alta densidade. A primeira consome 0,116 m³/m², enquanto a segunda, 0,326 m³/m².

No ano de 2005, segundo dados do DNPM, o mercado consumidor brasileiro de pedras britadas apresentava a seguinte distribuição:

Destinada à mistura com cimento 70%:

- Concreto 35%;
- Pré-fabricados 15%;
- Revenda 10%;
- Lastro de ferrovia, gabiões, contenção de taludes 10%.

Destinada à mistura com asfalto betuminoso 30%:

- pavimentação de ruas, bases e sub-bases para a construção de rodovias.

Areia-Definições

As areias são definidas como depósitos detriticos silicosos compostos, principalmente, por partículas de quartzo, mas a composição química e mineralógica dessas partículas pode variar dependendo da origem: orgânica, química, vulcânica ou clástica. A areia para construção civil ou agregado miúdo, possui granulometria entre 0,15 e 4,8 mm (classificadas em areias finas, médias e grossas) e massa específica normal ($1000 \text{ kg/m}^3 < \gamma < 2000 \text{ kg/m}^3$).

A areia utilizada para produção de argamassas e concretos, pode ser classificada como natural (rios, minas, várzeas) e artificial (pó de pedra). Na forma natural provém de arenitos inconsolidados, aluviões, depósitos residuais, solos de alteração, dunas, entre outros. Na forma artificial representa o subproduto resultante da lavra de pedreira e da unidade de britagem, sendo utilizada como matéria-prima para a produção de concreto betuminoso e pré-moldado. Este material quando devidamente processado, pode substituir a areia natural.

Usos e Funções

Areia Fina: É usada para acabamento da obra, normalmente para reboco, também na confecção de argamassa para revestimentos de acabamento e acabamento refinado da obra (reboco e emboço). A areia fina é ideal para argamassa de assentamento, revestimento externo e interno, contrapiso aderido e contrapiso acústico, regularização de piscinas e de impermeabilização.

Areia Média: É a mais usada, pois a sua estrutura permite a confecção de concreto em geral, artefatos de concreto (pré-moldados), com isso, está presente em praticamente todas as fases da obra. A areia média é ideal para chapisco rolado, contrapiso, assentamento de alvenaria, vedação estrutural, revestimento interno e externo.

Areia grossa: Geralmente é usada como agregado do concreto ou em trabalhos que exigem uma maior resistência da liga ou em trabalhos que não sejam tão refinados. É utilizada para confecção de asfalto, concretos para lajes pré-moldadas ou para estruturas de ferragem densa, artefatos de concreto pré-moldados, chapiscos e brita graduada para base de vias e em lugares que exijam maior resistência e acabamento menos refinado.

RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL - RCC

Definições Básicas

Resíduo, oriundo do termo em latim *residuu*, significa aquilo que sobra de qualquer substância. Este vocábulo passou a ser largamente utilizado pelos engenheiros sanitaristas em substituição ao termo lixo a partir da década de 1960.

Os resíduos sólidos podem ser classificados com base em vários critérios. De acordo com sua origem, podem ser divididos em urbanos, industriais, de serviços de saúde e radioativos.

Segundo o seu grau de degradabilidade, podem ser classificados em:

- Facilmente degradáveis: a matéria orgânica presente nos resíduos sólidos de origem urbana;
- Moderadamente degradáveis: papel e papelão;
- Difícilmente degradável: borracha, madeira e pedaços de pano;
- Não degradáveis: metais, plásticos, pedras, entre outros.

A classificação proposta na NBR 10004 (ABNT, 2004 a) considera a periculosidade dos resíduos sólidos e fornece procedimentos que viabilizam a identificação quanto aos riscos potenciais que esses oferecem ao meio ambiente e à saúde pública. Essa norma enquadra os resíduos em dois grupos: classe I – perigoso e classe II – não-perigosos. A classe II ainda é dividida em dois subgrupos: classe II A – não inertes e classe II B – inertes.

A resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente N°307 (CONAMA,2002) classifica os resíduos da construção civil em quatro classes, A, B, C e D, com base no seu potencial de reciclagem ou reuso. A classe A engloba os resíduos reutilizáveis como agregados, tais como: tijolos, blocos, telhas, argamassas e concreto. A classe B incorpora os resíduos que são recicláveis, mas não para a produção de agregados, como papel, plásticos, metais, vidros, madeiras, entre outros. A classe C abrange os resíduos para os quais ainda não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam sua reciclagem. Por último, a classe D é representada pelos resíduos perigosos, provenientes de processos construtivos. Os principais materiais contidos nesta classe são tintas, óleos, e aqueles originários de demolição e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

Os Resíduos de Construção Civil (RCC) são aqueles provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terreno, comumente chamados de entulho. Os RCCs podem ser constituídos de diversos tipos de materiais, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, telhas, concreto em geral, argamassa, solos, rochas, metais, entre outros (CONAMA, 2002). Esses resíduos são geralmente considerados como inertes e pertencentes à classe de resíduos sólidos urbanos. Agregados reciclados, segundo a norma NBR 15114 (ABNT, 2004d), são os materiais granulares provenientes do beneficiamento de resíduos de construção da classe A que apresentam características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, de aterros sanitários ou outras obras de engenharia.

Os agregados reciclados são geralmente classificados em mistos e de concreto. Os agregados reciclados de concreto (ARC), de acordo com a norma NBR 15116(ABNT,2004f), são aqueles obtidos do beneficiamento de resíduos da construção civil da classe A composto em sua fração graúda de no mínimo 90%, em massa, de fragmentos à base de cimento Portland e rochas. Os agregados mistos são aqueles provenientes do beneficiamento de resíduos da construção civil da classe A que possuem menos de 90% de materiais cimentícios e rochas.

Geração de RCC

Os resíduos de construção e demolição constituem a maior porção em massa dos resíduos sólidos gerados no mundo. Em 1994, estimativas apontavam para uma geração mundial anual desses resíduos compreendida entre 2 e 3 bilhões de toneladas (LAURITZEN, 1994).

Nos Estados Unidos, estima-se que foram geradas mais de 136 milhões toneladas de resíduos de construção e demolição no ano de 1996, sendo que nesses cálculos não estão incluídos os materiais procedentes de obras rodoviárias e de escavações (EPA, 1998). Nesse país, a maior parte dos RCC gerada, cerca de 50%, é proveniente do setor de demolição, em seguida, vem as atividades de manutenção e reformas que abrangem 40%, e em último, o setor de novas construções que gera a menor parcela, aproximadamente 10% (SANDLER, 2003).

Na União Européia, de acordo com o relatório “*Management of Construction and Demolition Waste*” publicado pela Comissão Européia, calculava-se em 2000, que eram produzidas anualmente cerca de 180 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (EC, 2000). A **Tabela 1** mostra a taxa anual de geração de RCC em alguns países membros desse bloco econômico.

Tabela 1 – Geração de RCC na União Europeia

PAÍS	10 ³ ton / Ano
Alemanha	59
Reino Unido	30
França	24
Itália	20
Espanha	13
Holanda	11
Bélgica	7
Áustria	5
Portugal	3
Dinamarca	3
Grécia	2
Suécia	2
Finlândia	1
Irlanda	1

Fonte: EC, 2000

Analisando-se a **Tabela 1**, observa-se que a geração anual de resíduos de construção e demolição varia consideravelmente nos países membros citados. A Alemanha apresenta a maior taxa de produção de RCC, 59 milhões de toneladas por ano, o que corresponde a quase 1/3 do total produzido na União Européia, enquanto a Finlândia, por exemplo, gera apenas um milhão de toneladas por ano. Essas diferenças são decorrentes de vários fatores, tais como: técnicas construtivas, tamanho do país e população.

A disposição dos resíduos de construção civil é também um grave problema no continente asiático. Em Hong-Kong, somente em 2004, foram produzidas mais de 20 milhões de toneladas de RCC (POON et al, 2006). Acredita-se que essa elevada produção seja devida ao fenômeno do “crescimento vertical” ocorrido nas últimas décadas. Esse fenômeno é bem comum em metrópoles nas quais a falta de terrenos livres acarreta a demolição de muitas edificações antigas para a construção de edifícios altos.

No Brasil não existem informações oficiais sobre a quantidade de resíduos proveniente dos setores de construção e demolição. Segundo Pinto(2001), há um profundo desconhecimento por parte dos administradores públicos quanto aos volumes gerados desses resíduos, dos impactos que esses causam e de seus custos sociais. Contudo, estima-se que os RCC representem cerca da metade dos resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados no país, o que corresponde a uma produção anual aproximada de 68,5 milhões de toneladas (ANGULO, 2005).

No Estado de São Paulo, o setor de construção civil também é considerado como o principal gerador de resíduos sólidos urbanos. A **Tabela 2** apresenta a quantidade de RCC produzida diariamente em alguns municípios paulistas e sua participação em relação ao total de resíduos sólidos urbanos. Analisando-se essa tabela, verifica-se que somente no município de São Paulo são produzidas em torno de 17 mil toneladas diariamente de RCC, o que corresponde a mais de 5,3 milhões de toneladas anualmente. Nesta tabela, é possível observar que em todas as cidades citadas a proporção dos resíduos de construção e demolição em relação ao total de resíduos sólidos urbanos é maior do que 50%.

Tabela 2 – Estimativa da geração de RCC nos municípios paulistas

MUNICÍPIO	ANO DE REFERÊNCIA	GERAÇÃO DIÁRIA (ton.)	RCC/RSU (%)
São Paulo	2003	17340	55
Campinas	1996	1800	64
Guarulhos	2001	1308	50
Ribeirão Preto	1995	1023	70
Santo André	1997	1013	54
São José dos Campos	1995	733	67
São José do Rio Preto	1997	687	58

Fonte: SINDUSCON-SP 2005

Além da geração inerente às atividades do setor de construção civil, as guerras e os desastres naturais produzem milhões de toneladas desses resíduos. A Segunda Guerra Mundial, por exemplo, gerou apenas na Alemanha um volume compreendido entre 400 e 600 milhões de metros cúbicos de entulhos (HANSEN,1992).

Outro exemplo foi em Taiwan, onde a questão dos resíduos de construção e demolição recebeu uma atenção especial devido a um terremoto que atingiu o país em 21 de setembro de 1999. Segundo Huang et al.(2002), esse desastre provocou danos estruturais em mais de 100.000 edificações que necessitaram ser reformadas ou totalmente reconstruídas, resultando em mais de 30 milhões de toneladas de entulhos apenas na região do epicentro.

Destinação dos RCC

No Brasil, a disposição dos resíduos de construção civil deve atender a critérios específicos determinados segundo a Resolução nº 307 do CONAMA (CONAMA, 2002). De acordo com essa resolução, a destinação dos RCC é de responsabilidade do gerador.

Ainda segundo essa resolução, os resíduos da construção civil não podem ser dispostos em aterros de resíduos domiciliares, em áreas de “bota fora”, em encostas, corpos d’água, lotes vagos e em áreas protegidas por lei.

Os RCC devem ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura. Entretanto, de acordo com Pinto(2001), em nosso país, a deposição de grandes volumes de RCC é feita geralmente em “bota-foras”.

A deposição dos resíduos de construção e demolição em aterros provoca o constante esgotamento desses locais, aumentando os gastos públicos com desapropriações, necessárias para a criação de novas áreas destinadas ao armazenamento de resíduos. Verifica-se ainda que em cidades de médio e grande porte, as áreas próprias para a construção de aterros sanitários estão cada vez mais distantes dos centros urbanos, o que tem causado uma elevação dos custos de transporte dos resíduos. Essa situação contribui para que os gastos com limpeza pública absorvam uma parcela significativa dos orçamentos. De acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2000), esses custos consomem de 7 a 15% dos orçamentos municipais, dos quais cerca de 50 a 70% são destinados somente à coleta e transporte dos resíduos.

Na União Européia, vários países membros vêm tomando medidas para restringir ou proibir a deposição de resíduos da construção e demolição em aterros sanitários, incentivando assim, sob o ponto de vista econômico a reciclagem. Em 1996, o Reino Unido introduziu uma tarifa sobre a deposição de resíduos inertes em aterro. Em primeiro de janeiro de 1997, a Holanda proibiu a deposição de RCC em aterros sanitários (EC, 2000).

No Brasil, a situação da gestão dos resíduos de construção e demolição é agravada pelos altos índices de disposição irregular desses materiais em vias públicas, terrenos baldios, praças, calhas de rios e encostas. Segundo SINDUSCON-SP(2005), essa forma de destinação dos RCC provoca diversos impactos ao meio ambiente e à sociedade, como a degradação das áreas de mananciais e de preservação permanente; a proliferação de agentes transmissores de doenças; o assoreamento de rios e córregos; a obstrução dos sistemas de drenagem; e a ocupação de vias e logradouros públicos por resíduos.

Observa-se que na maioria das cidades brasileiras existem diversos locais onde ocorrem disposição irregular de resíduos da construção e demolição. Em relação à gestão dos RCC, verifica-se que a maioria das prefeituras municipais realiza apenas medidas corretivas, isto é, de tempos em tempos, suas equipes de limpeza realizam operações de coleta de entulhos em pontos viciados de disposição irregular. Contudo, esse tipo de solução não resolve o problema, a população sem acesso a dispositivos adequados de coleta acaba dispondo novamente seus resíduos no mesmo local.

Reciclagem dos RCC

A reciclagem dos resíduos de construção e demolição consiste no processo de reaproveitamento desses materiais após sua transformação. Essa permite que grandes quantidades de entulhos sejam utilizadas de forma racional (EC, 2000), representando uma forma de converter um produto descartado em um material de alta qualidade. A reciclagem também tem o potencial de estender a vida útil dos recursos naturais, completando o abastecimento dos recursos, reduzindo os impactos ambientais e promovendo o desenvolvimento sustentável.

Os resíduos de construção e demolição podem ser reciclados na forma de agregados por meio de um beneficiamento, constituído de operações de triagem, britagem, peneiramento e armazenamento. Geralmente, os agregados reciclados são classificados de acordo com sua constituição predominante em dois grupos, agregados reciclados de concreto e agregados reciclados mistos.

Reciclagem de RCC no Brasil

Em 2002, diante da necessidade de se reduzir os impactos dos resíduos da construção civil, foi publicada a Resolução CONAMA Nº307(CONAMA,2002) que determina diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão deste tipo de resíduo. Segundo esta resolução, os geradores são responsáveis por seus resíduos e devem ter como objetivo prioritário a não geração e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final.

Outro avanço no tocante à reciclagem de resíduos de construção e demolição no país é decorrente da publicação pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em 2004, de normas específicas relativas à sua gestão e seu emprego, que são citadas a seguir:

- NBR 15112 – Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação;
- NBR 15113 – Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação;
- NBR 15114 – Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação;
- NBR 15115 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos;
- NBR 15116 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.

Mesmo com a publicação de legislações e normas técnicas específicas do assunto, o Brasil ainda se mostra aquém do ideal em relação à reciclagem de resíduos de construção civil. Em um país com mais de 5560 municípios (IBGE,2001), havia em 2004 apenas 14 usinas de reciclagem de RCC, espalhadas em 12 cidades (NUNES, 2004). Em 2007, de acordo com Moreira et al. (2007), esse número aumentou para 16 unidades. Hoje segundo o Ministério das Cidades, existem 310 usinas de reciclagem de RCC no Brasil.

A primeira central de reciclagem de resíduos de construção e demolição do Brasil foi instalada na cidade de São Paulo em novembro de 1991. Essa localizava-se em uma área de 20.000 m² em Itatinga, zona sul do município,

e tinha uma capacidade inicial de 100 t/h. Após dez anos, em 2001, essa usina foi transferida para a área de aterro de inertes de Itaquera (NUNES, 2004).

CONSTRUÇÃO DE REDES DE ÁGUA E ESGOTO

INTERAÇÃO SOLO TUBO

A solução econômica de problemas de esgotamento sanitário, assim como as de esgotamento de águas superficiais de drenagem em áreas urbanas (galerias), escoamento de cursos d'água na transposição de estradas em aterro (bueiros), envolve duas etapas principais (Zaidler, 1983):

- Projeto hidráulico
- Projeto estrutural

No projeto hidráulico são tomadas as decisões necessárias para garantir o bom desempenho funcional do condutor, com a definição de suas características geométricas (secção de vazão, locação em planta e corte etc.), medidas de proteção contra a erosão, entupimentos, riscos de inundação etc., levando-se em conta todas as ações hidráulicas capazes de agir sobre a estrutura.

Os conceitos, teorias e orientações correntes, que constituem a base do projeto estrutural de tubos, são decorrentes dos trabalhos de Marston e Spangler, e salvo alguns aperfeiçoamentos pouco significativos, o projeto estrutural de tubos tem-se resumido à determinação do carregamento e ao dimensionamento.

As críticas mais frequentes, que sofrem tais métodos de cálculo, são de serem antieconômicos, por conduzirem a dimensões exageradas. Entretanto, deve-se considerar outros aspectos, como a durabilidade, transporte e manuseio e certas particularidades da execução que são tão significativas ou mais que os parâmetros estruturais, de modo que, para a grande maioria dos casos correntes, permanecem satisfatórios os processos de cálculo em utilização.

Como o êxito de uma obra não depende apenas da elaboração de um bom projeto, mas principalmente da boa observância deste na fase da construção, eventuais aperfeiçoamentos da análise estrutural são, ou podem ser, anulados pelo emprego de processos construtivos inadequados.

CARGAS

Há dois tipos principais de cargas a serem consideradas no cálculo dos tubos: as cargas de terra, devidas ao peso do solo acima da tubulação, e as cargas móveis, representadas pelo tráfego na superfície do terreno.

Carga de terra

É resultante do peso do prisma de solo situado diretamente acima da tubulação (ABCD), o qual é modificado por forças de atrito geradas pelo movimento relativo entre tal prisma e os prismas laterais adjacentes.

A **Figura 1** representando tubos em condições de vala, mostra o prisma de solo 1, situado diretamente acima da tubulação, os prismas laterais adjacentes representados pela força F, e o solo de enchimento lateral 2.

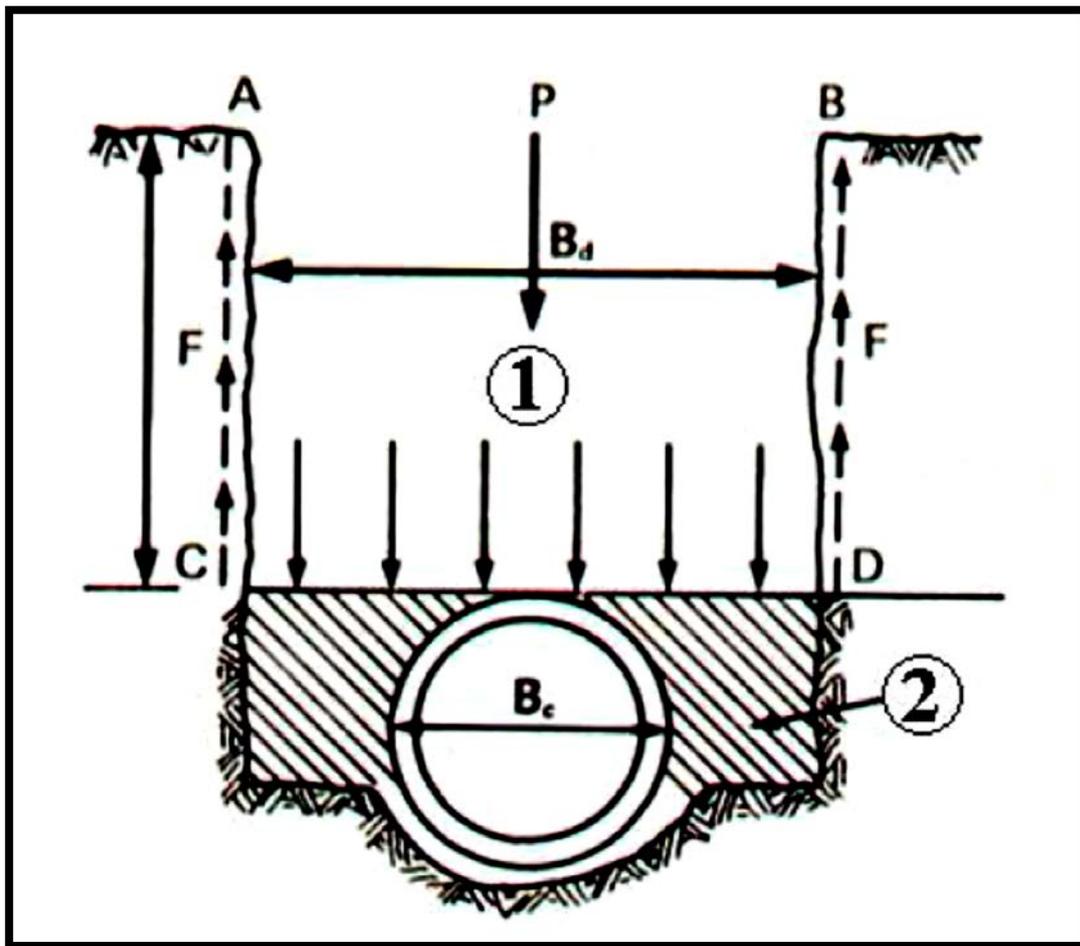


Figura 1 – Carga sobre tubos enterrados (Zaidler,1983)

A carga de terra pode ser calculada pelas fórmulas de Marston, e depende principalmente do tipo de tubo (rígido ou flexível), tipo de solo, profundidade, e tipo de instalação. Em razão da reconhecida influência das condições construtivas, as canalizações enterradas podem ser classificadas em dois tipos principais: valas ou aterros conforme **Figura 2** abaixo:

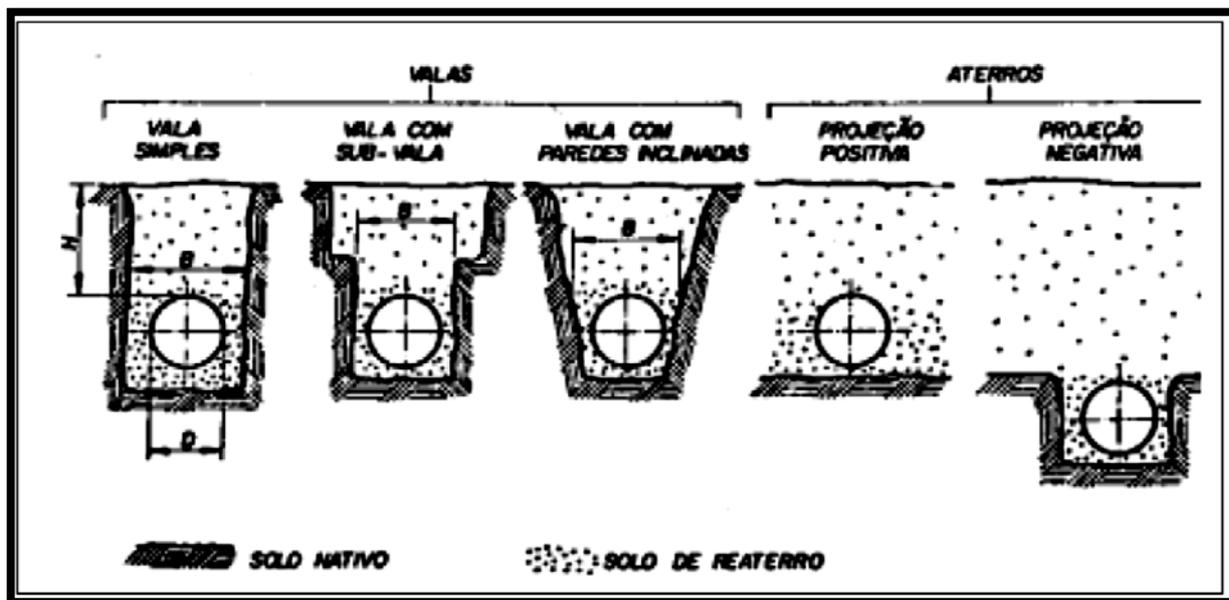


Figura 2 – Tipos de instalações para tubos enterrados (Zaidler,1983)

Portanto, para tubos rígidos, das fórmulas de *Marston* temos:

- Instalação em vala:

$$Q1 = Cv \cdot \gamma \cdot B^2$$

- Instalação em aterro:

$$Q1 = Ca \cdot \gamma \cdot D^2$$

Onde:

Q = carga sobre o tubo, por unidade de comprimento

Cv = coeficiente de carga de Marston para tubos instalados em vala

Ca = coeficiente de carga de Marston para tubos instalados em aterro,

γ = peso específico do solo de reaterro,

B = largura da vala, no nível da geratriz superior do tubo conforme fig. 16

D = diâmetro externo do tubo.

Das fórmulas de Marston pode-se concluir que a carga de terra sobre um tubo rígido na condição de vala é diretamente proporcional à largura da vala no nível da geratriz superior do tubo, ou seja, um aumento da largura da vala acarreta um aumento da carga.

Entretanto, esta relação não continua ilimitadamente, ou seja, acima de uma determinada largura de vala, mantendo-se constantes a profundidade da instalação e o diâmetro do tubo, não haverá mais acréscimo de carga. Esta largura é chamada de “largura de transição”, sendo o valor limite para o uso da fórmula de Marston para a condição de vala.

Face ao exposto, o cálculo da carga em tubulações a partir da largura de transição deverá ser feito usando a fórmula de Marston para tubos na condição de aterro.

Na condição de aterro, o tubo estará sujeito à carga máxima, pois não haverá alívio de carga devido ao atrito nas paredes da vala.

Os valores dos coeficientes de Marston para tubos instalados na condição de vala (Cv) e aterro (Ca) e a largura de transição podem ser determinados pela teoria de Marston consultando-se as referências bibliográficas.

Cargas móveis

São resultantes do tráfego na superfície, sendo que a pressão resultante no solo pode ser calculada através da integração de Newmark para a fórmula de Boussinesq:

-Cargas concentradas $Q2 = C \frac{Pf}{L}$

-Cargas distribuídas $Q2 = CqfD$

Onde:

C = coeficiente de carga,

f = fator de impacto,

f = 1,5 para rodovias

f = 1,75 para ferrovias

f = 1,00 a 1,50 para aeroportos

q = carga distribuída na superfície do solo,

P = carga concentrada aplicada na superfície do solo,

D = diâmetro externo do tubo,

L = comprimento do tubo.

O valor do coeficiente de carga **C** para determinação da carga móvel atuante sobre a tubulação e os critérios de cálculo para carga concentrada e distribuída podem ser obtidos consultando-se as referências bibliográficas.

Carga total

É a soma da carga de terra, da carga móvel e de outras que porventura existam, tais como fundações etc.

$$QT = Q1 + Q2 + \dots + Qn$$

Onde:

QT = carga total,

Q1 = carga de terra,

Q2 = carga móvel,

Qn = outras cargas

DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento dos tubos pode ser reduzido ao cálculo de um tubo capaz de resistir a uma determinada carga num determinado ensaio de laboratório. Este processo é conhecido como de Spangler e Marston, sendo largamente aceito e aplicado no caso de tubos rígidos.

Dentre os vários métodos de ensaio destinados à determinação da resistência de um tubo, os quatro mais conhecidos, são o de três cutelos, o de dois cutelos, o do colchão de areia e o de Minnesota, conforme apresentado na **Figura 3** abaixo:

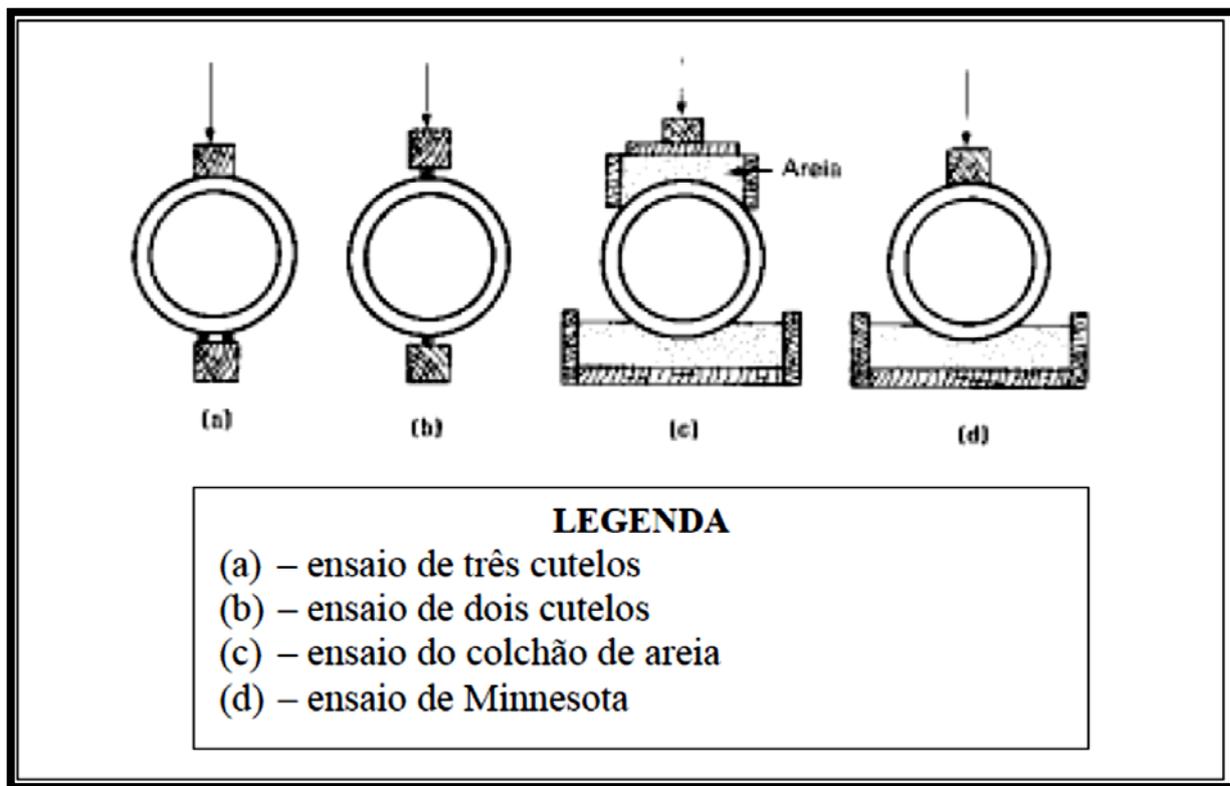


Figura 3 – Métodos de ensaio de tubos (Zaidler, 1983)

Quer pela simplicidade e facilidade de realização, quer pela exatidão e uniformidade dos resultados, o método dos três cutelos é o mais usado no Brasil.

Como a capacidade de carga de uma tubulação enterrada, não depende apenas da resistência do tubo, mas também das condições de execução, principalmente da contribuição das pressões laterais, a relação entre a efetiva resistência do tubo instalado e a carga fornecida pelo ensaio de três cutelos, é dada em cada caso por um fator de equivalência (f_e).

Portanto em função das condições de assentamento tem-se os seguintes fatores de equivalência para tubos em valas:

Bases condenáveis – Fator de equivalência = 1,10 (**Figura 4**)

Bases comuns – Fator de equivalência = 1,50 (**Figura 5**)

Bases de 1ª classe – Fator de equivalência = 1,90 (**Figura 6**)

Bases de concreto – Fator de equivalência = 2,85 (**Figura 7**)

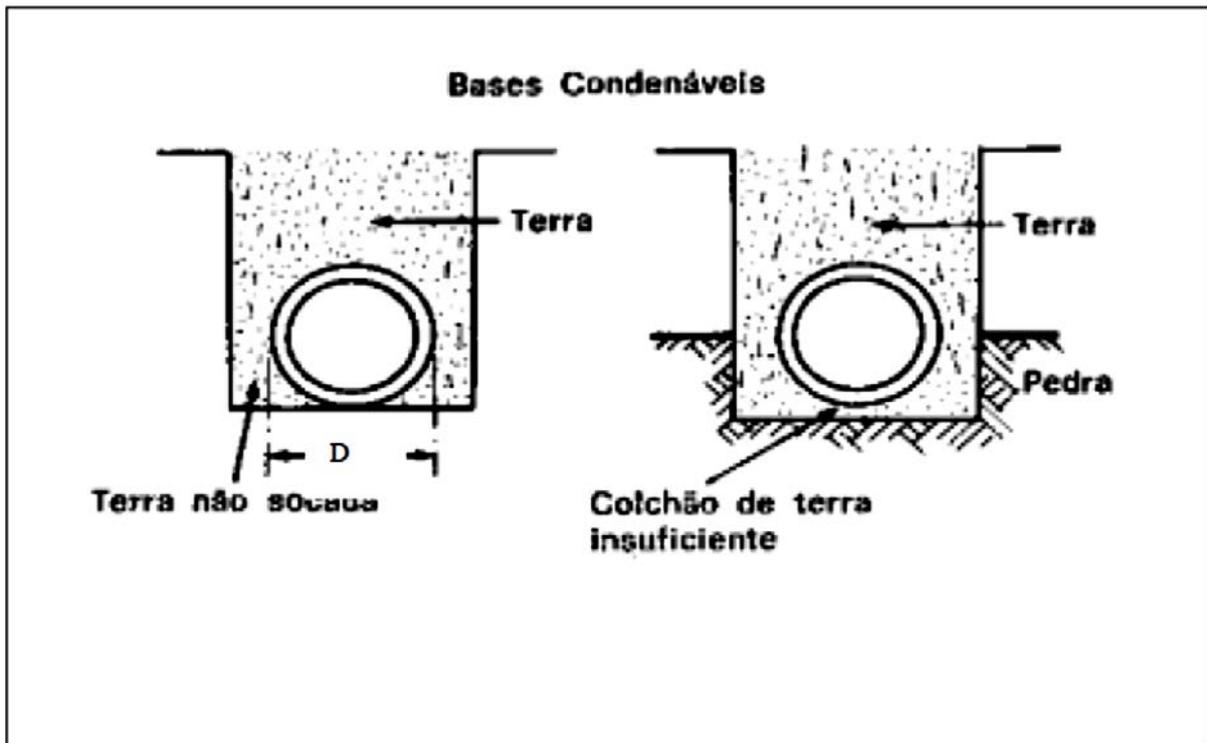


Figura 4 – Bases condenáveis para tubos em vala

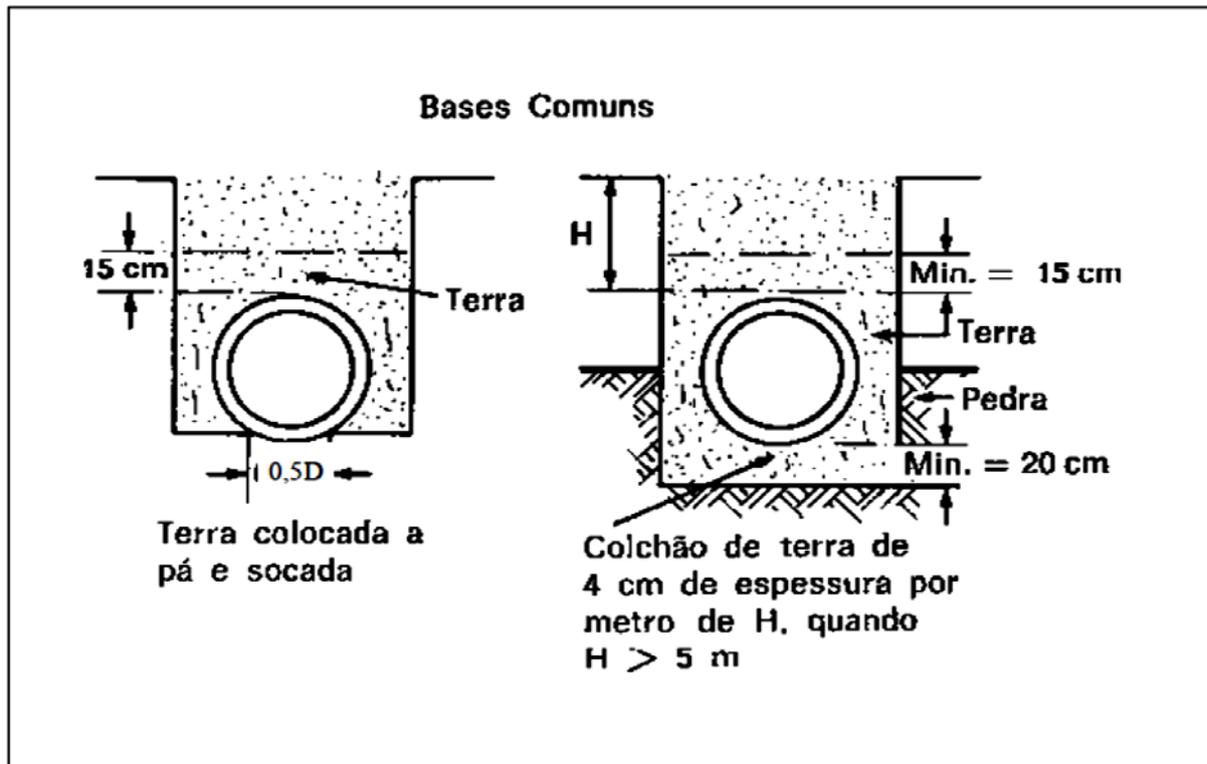


Figura 5 – Bases comuns para tubos em vala

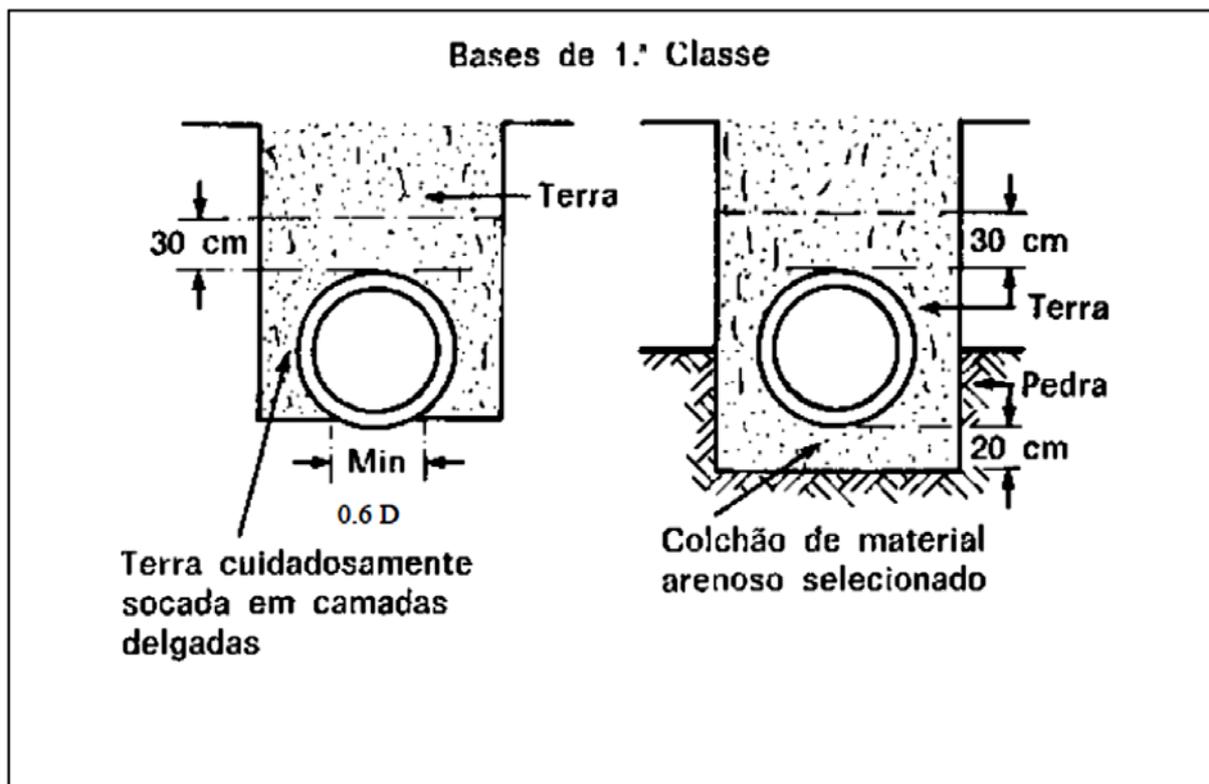


Figura 6 – Bases de primeira classe para tubos em vala

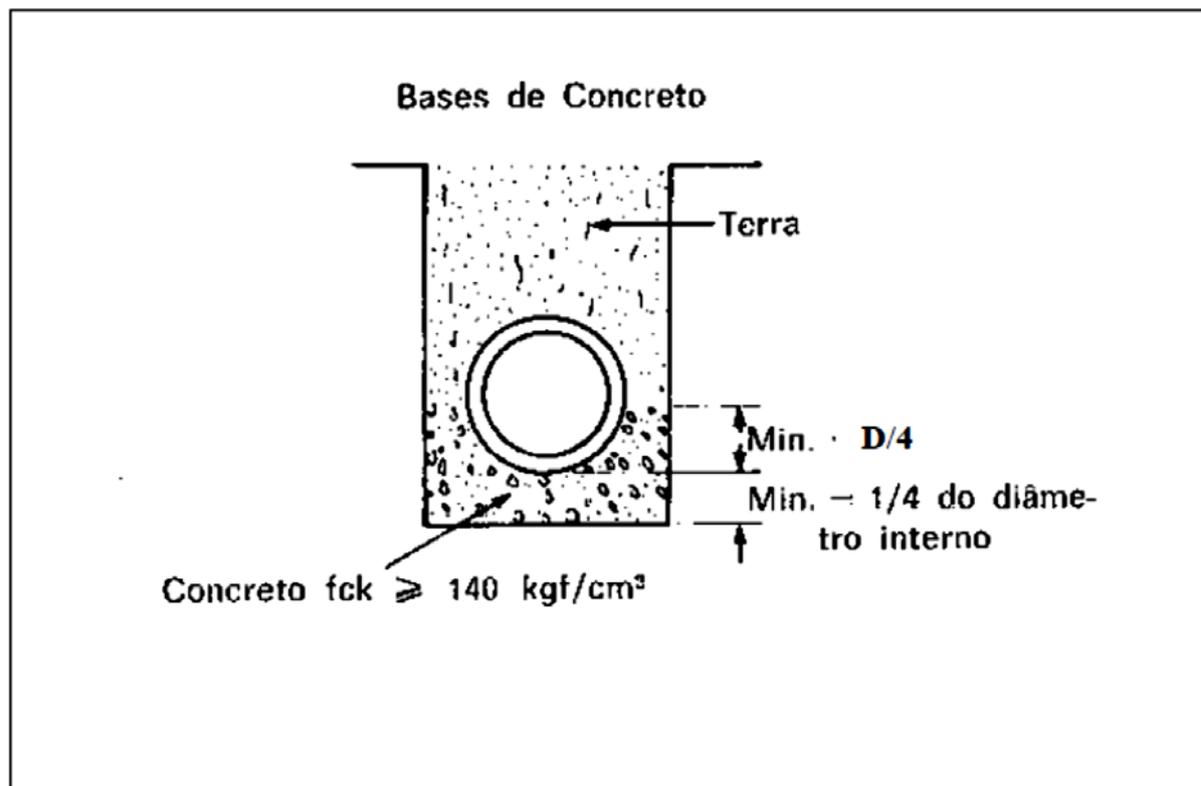


Figura 7 – Bases de concreto para tubos em vala

Em função de todos os conceitos e variáveis envolvidas no projeto e dimensionamento de tubos abordados, e considerando-se a condição de assentamento, pode-se calcular a carga total atuante sobre a tubulação através da seguinte fórmula:

$$Q = \frac{Q1 + Q2 + Qn}{fe}$$

Onde:

Q = carga total atuante sobre a tubulação

$Q1, Q2, Qn$ = cargas atuantes na tubulação (terra, carga móvel, e outras cargas),

fe = fator de equivalência em função do tipo de assentamento da tubulação.

Após o cálculo do valor da carga total atuante sobre a tubulação, deverá ser escolhida a classe de resistência do tubo que atende ao valor calculado sempre levando em consideração o material de berço, envoltória ou solo de envolvimento da vala.

ESTUDO DE CASO – BOOSTER JAGUARA

Diante da necessidade de melhorar o abastecimento de água para a população de Osasco e região tornou-se imprescindível a instalação de um novo conjunto moto-bomba na Estação Elevatória existente aumentando a pressão na adutora.

Para a interligação desse novo conjunto moto-bomba realizou-se uma escavação de grande porte para acessar a adutora existente, surgindo uma oportunidade para aplicação em campo do agregado reciclado de RCC.

Tabela 3 - Número de Repavimentos executados em SP pela SABESP em 2012

REPAVIMENTO EXECUTADO (ÁGUA E ESGOTO)						
MÊS	Unidades de Negócio					M
	MC	MN	MS	ML	MO	
janeiro-12	9.175	9.164	11.429	10.879	7.243	47.890
fevereiro-12	8.436	9.718	12.085	11.907	8.685	50.831
março-12	9.982	12.302	14.733	12.079	10.059	59.155
abril-12	9.193	11.395	13.013	9.691	8.223	51.515
maio-12	10.527	12.551	14.432	10.517	9.715	57.742
junho-12	8.347	10.669	11.006	8.508	8.511	47.041
julho-12	11.851	10.893	13.650	11.426	9.042	56.862
agosto-12	11.446	11.672	13.818	12.091	9.987	59.014
setembro-12	10.797	10.446	12.661	9.805	8.867	52.576
outubro-12	11.196	11.483	14.273	11.648	8.492	57.092
novembro-12	10.355	10.157	11.447	11.424	3.967	47.350
dezembro-12	9.328	10.600	9.591	8.591	3.661	41.771
TOTAL	120.633	131.050	152.138	128.566	96.452	628.839

INTERVENÇÃO NA TUBULAÇÃO

BOOSTER (Foto1): bomba que, intercalada em uma tubulação, aumenta a pressão auxiliando no escoamento da água, proporcionando a energia necessária quando as condições topográficas ou as perdas de carga nas linhas assim o exigirem. O booster é um sistema moderno que tem a finalidade de economizar energia e realizar o controle da pressão das redes automaticamente reduzindo a incidência de vazamentos.



Foto 1- Conjunto Moto bomba (Fonte: autor)

O Booster Jaguarua localiza-se na Rua Antônio Ayrosa em Pirituba. Trata-se de uma via por onde circulam veículos de passeio e veículos pesados como ônibus e carretas com média frequência. A via é constituída de pavimento flexível com sistema de drenagem de águas pluviais estabelecido (guias, sarjetas, bocas de lobo, etc).

Para a instalação deste conjunto foram realizadas as seguintes etapas construtivas:

- 1 - Levantamento das interferências em conjunto com as concessionárias responsáveis pelos sistemas de telecomunicações, gás, energia elétrica, drenagem;
- 2 - Autorização da CET (Companhia de Engenharia de Tráfego) para interdição da via;
- 3 - Divulgação do prazo da obra aos moradores diretamente afetados, mostrando a importância para a sociedade;
- 4 - Instalação da sinalização viária auxiliar (faixas e placas) e interdição da via com barreiras físicas;
- 5 - Corte e remoção da capa asfáltica;
- 6 - Escavação e escoramento metálico da vala;
- 7 - Confecção das bases em concreto para apoio do conjunto moto bomba;
- 8 - Montagem do conjunto moto bomba, da tubulação de aço do by-pass, curvas e instalação das válvulas;
- 9 - Parada do sistema de abastecimento de água para interligação;
- 10 - Lançamento da camada de areia de RCC para envoltória da adutora;
- 11 - Retirada do escoramento e reaterro da vala em camadas;
- 12 - Recomposição da via



Foto 2 – Vista geral da obra



Foto 3 – Vista geral da interligação com a adutora

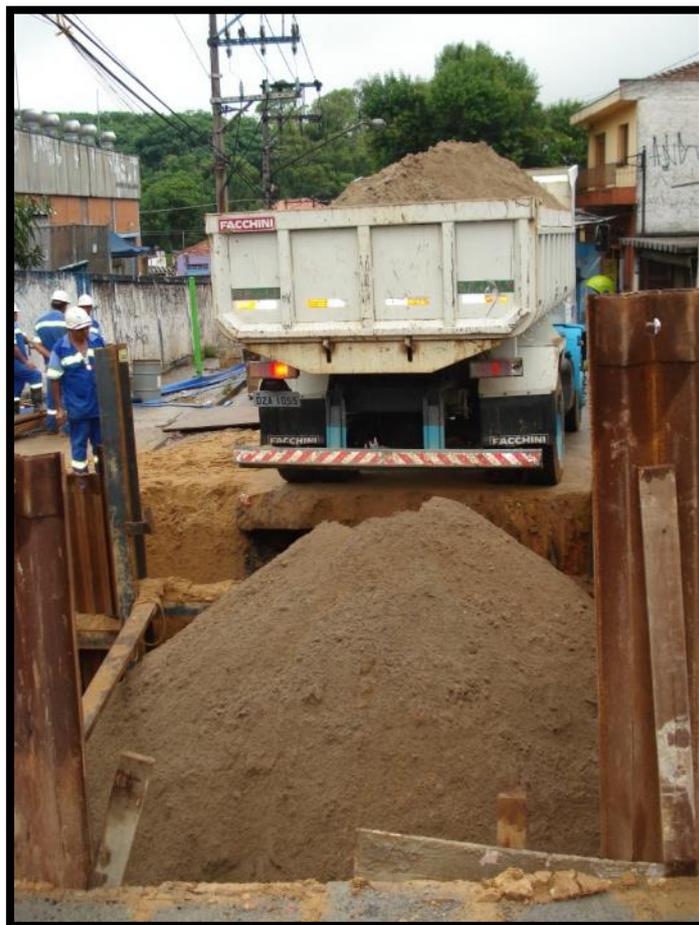


Foto 4 – Lançamento da areia reciclada para a envoltória



Foto 5 – Compactação via úmida com vibrador



Foto 6 – Realização dos ensaios em campo



Foto 7 – Compactação das camadas do reaterro da vala



Foto 8 – Vista do aterro da vala finalizado

RESULTADOS

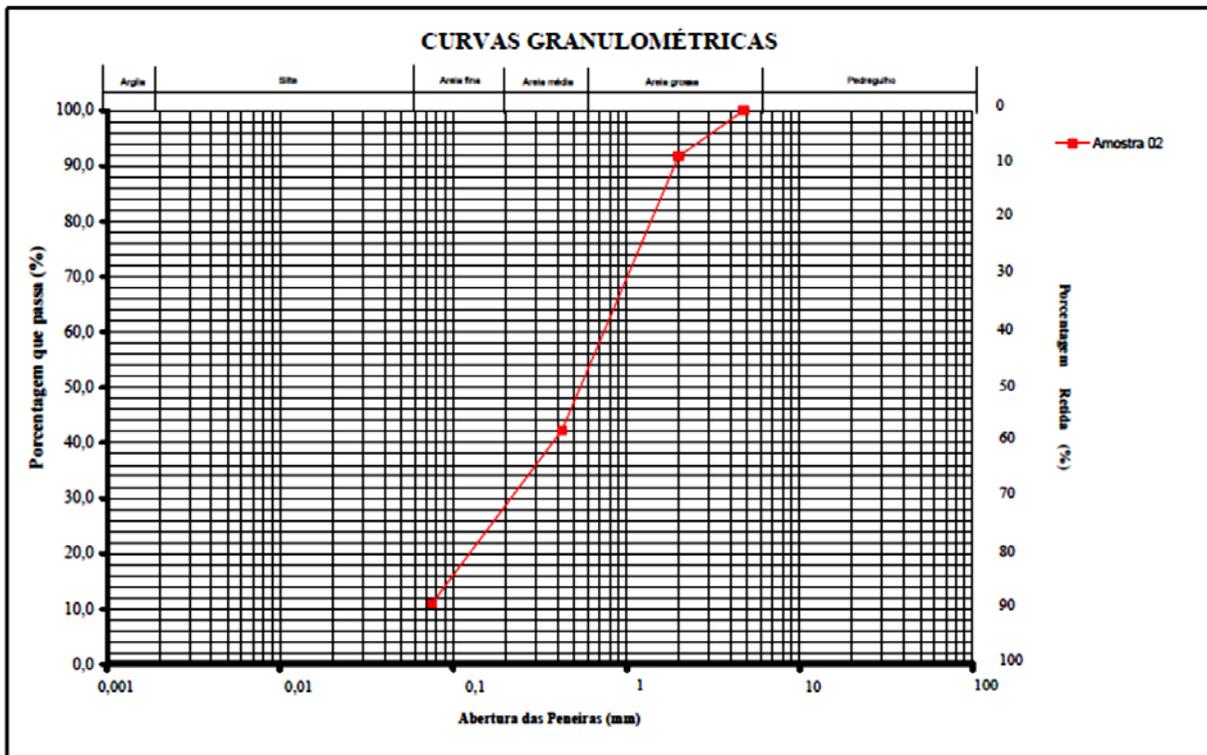


Figura 8 – Curva Granulométrica do Agregado de RCC

DATA	ESPESSURA (cm)	CAMADA	ENSAIO N°	Local	Ensaio de Compactação		IN-SITU		G.C. (%)	Δh (%)
					NBR (7182/96)		NBR 9813/87			
					$\gamma_s^{m\acute{a}x}$ (g/cm ³)	hot (%)	γ_{sa} (g/cm ³)	ha (%)		
13/01/11	-	1ª	-	-	1809	14,3	1637	17,3	90,5	+3,0
13/01/11	-	1ª	-	-	1809	14,3	1524	17,3	84,2	+3,0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\gamma_{sa}^{m\acute{a}x}$				ha - Umidade de Aterro	Obs.:					
γ_{sa}	Massa Esp. Aparecida seca In-Situ			GC - Grau de compactação						
hot	Umidade Ótima			Δh (%) - Desvio de umidade						

Figura 9 – Resultados do ensaio de compactação

AMOSTRA				Amostra 02	-	-	-	
GRANULOMETRIA (%) PASSANTE	PENEIRAS	2"	50 mm	NBR - 7181/88	-	-	-	-
		1 1/2"	37.5 mm		-	-	-	-
		1	25 mm		-	-	-	-
		3/4"	19 mm		-	-	-	-
		3/8"	9.5 mm		-	-	-	-
		4	4.75 mm		100,0	-	-	-
		10	2.0 mm		91,7	-	-	-
		40	0.425 mm		42,3	-	-	-
		200	0.075 mm		10,9	-	-	-
LIMITES	LIMITE DE LIQUIDEZ (%)		NBR - 6459/84	NL	-	-	-	
FÍSICOS	ÍNDICE DE PLASTICIDADE (%)		NBR - 7180/84	NP	-	-	-	
	LIMITE CONTRAÇÃO (%)		NBR - 7183/82	-	-	-	-	
	UMIDADE NATURAL (%)		NBR - 6457/86	-	-	-	-	
	ÍNDICE DE GRUPO (IG)			0	-	-	-	
	CLASSIFICAÇÃO H.R.B.			A-1b	-	-	-	
COMPACTAÇÃO	L A B	UMIDADE ÓTIMA (%)		NBR - 7182/88	17,4	-	-	-
		DENSIDADE MÁXIMA (g/cm ³)			1,708	-	-	-
	I.S.C (%)		NBR - 9895/87	34,3	-	-	-	
	EXPANSÃO (%)			0,1	-	-	-	
	EQUIVALENTE DE AREIA (%)		DNER ME 054/94	-	-	-	-	

Figura 10 – Resumo dos ensaios

DISCUSSÃO

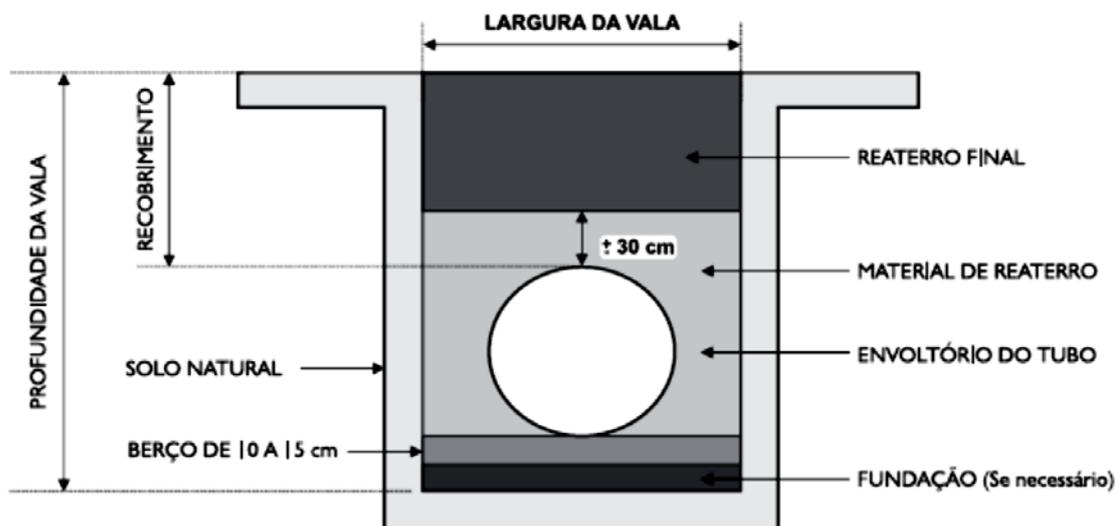


Figura 11 – Desenho esquemático de vala

A seguir estão relacionadas as principais Normas Técnicas e especificações de órgãos que regulamentam e utilizam materiais na pavimentação. Como não existem ainda normas técnicas ou especificações sobre o uso da areia de RCC em envoltórias, estes serão os parâmetros utilizados para a discussão dos resultados.

A norma da PMSP/SP ETS – 001/2002 da Prefeitura Municipal de São Paulo traz especificação de serviço sobre camadas de reforço do subleito, sub-base e base mista de pavimentos com agregado reciclado de RCC.

De acordo com a norma, o agregado deverá apresentar curva granulométrica contínua e bem graduada, com coeficiente de curvatura CC compreendido entre 1 e 3 e coeficiente de uniformidade $CU \geq 10$; a porcentagem que passa na peneira de malha quadrada de 0,42 mm (n.º 40) deverá ficar entre 10 e 30 %; subleitos $CBR \geq 12$ %, expansão $\leq 1,0$ % compactados na EC normal; sub-bases $CBR \geq 20$ % e expansão $\leq 1,0$ % compactado na EC intermediária; bases mistas somente para vias de tráfego com $N \leq 105$ repetições do eixo padrão de 80 kN ou (8,2 tf), no período, valor de $CBR \geq 60$ % e expansão $\leq 0,5$ %; no caso de adição de cimento e/ou cal hidratada, o material deverá ser submetido ao ensaio de resistência à compressão simples após sete dias de cura e apresentar resistência de, no mínimo, 2,1 Mpa em corpos de prova moldados na energia de compactação especificada.

A ABNT NBR 15115/2004 define os requisitos básicos para a utilização dos agregados reciclados em camadas de pavimentos. A curva granulométrica deverá ser bem graduada com coeficiente de uniformidade $Cu \geq 10$; a porcentagem que passa na peneira 0,42 mm (n.º 40) deve ficar entre 10 e 40 %; para o reforço do subleito o valor de CBR deverá ser ≥ 12 %, expansão $\leq 1,0$ %, compactado na energia normal; e sub-base o CBR deverá ser ≥ 20 %, expansão $\leq 1,0$ % compactado na EC intermediária.

A ABNT NBR 15116/2004 define os requisitos dos agregados reciclados para a utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural, cujo coeficiente de uniformidade $CU > 10$ e $CBR \geq 20$ %.

O DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes), permite a utilização de materiais alternativos quando o projeto de tráfego tem repetições do eixo padrão de 82 kN para o período de projeto até $N \leq 106$, com $CBR \geq 60$ %, expansão $\leq 0,5$ %, compactados no Proctor intermediário e valores para $LL \leq 25$ %.

Submetendo-se os valores encontrados no RCC (Resíduos de Construção Civil) reciclado utilizado na envoltória, verifica-se que a areia de RCC analisada atenderia as especificações para pavimento, excetuando sua utilização direta como base tanto na especificação da Prefeitura de São Paulo quanto do DNIT.

No presente trabalho não foram realizados os testes preconizados pela ABNT 10004/2004 para verificação de contaminantes, pois não havia verba disponível para contratar estes serviços de um laboratório acreditado.

Durante o acompanhamento de campo na realização da obra, verificou-se que a aplicação da areia do RCC tem comportamento físico similar a areia média lavada comumente utilizada pela SABESP em envoltórias, não necessitando de treinamento específico para os trabalhadores que realizaram tal tarefa.

O local do estudo de caso em questão continua sendo monitorado através de pinos metálicos inseridos na calçada adjacente a via com monitoramento de recalques via topografia. Esta calçada foi escolhida como ponto de controle, pois esta foi removida fazendo parte da vala em questão.

A interação solo/tubo é explicitada através das Teorias de Marston-Spangler e Boussinesq que são comumente utilizadas para o projeto estrutural de tubulação. Nessas teorias o tipo de solo, seu grau de compactação, a geometria da vala e o recobrimento acima do tubo são de fundamental importância para o correto desempenho estrutural do mesmo. A envoltória de areia de RCC até 30cm acima da geratriz superior do tubo, sua compactação via úmida por vibração e sua granulometria convergem e muito a favor das hipóteses adotadas tornando o sistema solo/tubo eficaz.

CONCLUSÕES / RECOMENDAÇÕES

Tendo em vista os objetivos iniciais deste estudo e em face das dificuldades de logística e viabilização financeira em tempo hábil para a realização da obra, os resultados são bastante promissores do ponto de vista técnico.

Com relação ao cunho ambiental que o trabalho acaba focando também, este precisa ser melhor explorado dentro da SABESP. Para que ocorra a alavancagem no uso dos agregados reciclados, estamos viabilizando mudanças significativas nas cláusulas contratuais para que estas contemplem também a escolha por produtos desta natureza, reduzindo custo para a sociedade que paga pelos serviços de água e esgoto, mas principalmente contribuindo para a redução no uso de agregados naturais e disposições irregulares de Resíduos de Construção Civil.

Outro diferencial de caráter ambiental também foi o uso de água de reuso na compactação da areia de RCC (compactação via úmida). Esta água é proveniente das Estações de Tratamento de Esgoto e é usada na limpeza de ruas, rega de jardins e em aplicações industriais. O uso dessa água reduz os custos e preserva a água potável para seu verdadeiro propósito que é servir a população.

Outras aplicações do agregado reciclado, além desta aqui descrita, também estão sendo viabilizadas dentro da SABESP: uso em concreto não estrutural; contenções de encostas e rios na forma de gabião; correção granulométrica em conjunto com lodos de ETAs e ETES para confecção de pré-moldados de concreto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANGULO, S.C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. São Paulo, 2000. 155p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71p.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15112**: Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004, 7 p.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15113**: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004, 12 p.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15114**: Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004, 7 p.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15115**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil. Execução de camadas de pavimentação. Procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004, 10 p.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil. Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural. Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004, 12 p.

8. BIDONE, F.R.A. (Coord.) (2001). *“Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: eliminação e valorização”*. Rio de Janeiro: RiMa, ABES.
9. BRASIL. Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 3 de agosto de 2010.
10. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução no 348, de 16 de agosto de 2004. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, no 158, 17 de agosto de 2004. Seção I, p.70.
11. CARNEIRO et al. (2001). *“Características do entulho e do agregado reciclado”*. In: CARNEIRO, A.P.; BRUM, I.A.S.; CASSA, J.C.S. (Org). Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção. Projeto entulho bom. Salvador: EDUFBA, Caixa Econômica Federal, Cap.5, p.144-187.
12. DNP. **Sumário Mineral** – Edições- 2001 a 2008.
13. HANSEN, T.C. **Recycled of demolished concrete and masonry**. London: Chapman & Hall, 1992. p.316.
14. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Cidades**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 07 nov. 2015.
15. LEVY, S. M. **Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos**. São Paulo, 1997. 147 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo.
16. MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Panorama dos Resíduos de Construção e Demolição no Brasil**. Brasília, DF: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2005.
17. PINTO, Tarcísio de Paula; GONZÁLEZ, Juan Luís Rodrigo. **Guia profissional para uma gestão correta dos resíduos da construção**. São Paulo: CREA-SP – Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia do Estado de São Paulo, 2005, 44 p.
18. SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil: a experiência do SindusCon-SP**. São Paulo: 2005. p.18-26.
19. SPANGLER, M. G. **Stress Distribution in Soil**. In Soil Engineering, 1. ed. Scranton: International Textbook Co., 1951. cap. 17, p 251-264.