

UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA PAVIMENTAÇÃO EM SÃO LUÍS - MA

Mylane Viana Hortegal¹, Thiago Coelho Ferreira¹, Walter Canales Sant'Ana¹,

¹Departamento de Expressões Gráficas e Transportes, Universidade Estadual do Maranhão, Cidade Universitária Paulo VI, CP. 09 Tirirical, CEP. 65.055-310, São Luís, MA, Brasil. E-mail:: mylanehortegal@hotmail.com

RESUMO

A grande quantidade de resíduos sólidos de construção e demolição (RCD) gerada nas cidades de médio e grande porte é considerada inservível, gerando forte preocupação em função das questões ambientais, econômicas e sociais quando dispostos de forma inadequada. Experiências realizadas no país e no mundo têm demonstrado que o resíduo sólido das construções e demolições é uma alternativa interessante na aplicação em camadas de pavimentos. O presente trabalho tem o intuito, num primeiro momento, de conhecer a história, coleta e disposição desse tipo de resíduo em diversas cidades e em São Luís. Além disso, verificar, por meio de análises laboratoriais, a composição dos resíduos e algumas propriedades mecânicas de uma mistura de agregado reciclado, que são os

RCD beneficiados, com solo para aplicação em camadas de pavimentação. A partir dessas análises de laboratório foram estabelecidos alguns indicadores da mistura solo-RCD, por meio dos ensaios de degradação Proctor e índice de suporte Califórnia, que apresentam valores aceitáveis de acordo com as normas de pavimentação e agregados reciclados. Os estudos realizados apontaram para o grande passivo ambiental resultante quando do não aproveitamento de modo sustentável do RCD, e mesmo no estágio inicial da pesquisa laboratorial, conclui-se que a mistura solo-RCD analisada é de uso promissor na pavimentação, dadas suas propriedades físicas e mecânicas aceitáveis de acordo com as normas consultadas.

Palavras chaves: resíduos sólidos, RCD, pavimentação, reciclagem, agregado reciclado

ABSTRACT

The great amount of construction and demolition waste (CDW) generates in the medium or big cities is considered not useful, causing a strong concern in function of the environment, economics

and social aspects then they are disposed inadequately. Experiences carried though the country and the world have demonstrated that the solid residue of the constructions and demolitions is an

interesting alternative to application in layers of pavements. This work has the intention, at the first moment, know the history, collects and disposal of this kind of residue in a variety of towns as for São Luís. Besides, realization of laboratorial analysis to verify the composition of the residues and some mechanical properties when the recycled aggregate, which are the CDW benefited, mixed with soil for the application in layers of pavement. From these laboratory analysis, some indicators were establish for the mixture of soil-RCD, using the tests of

degradation Proctor and the parameters of the Californian Bearing Ration – CBR, that presents acceptable values in accordance with the norms of pavementation and recycled aggregate. The studies pointed for the big environment passive resulted when the not recycling in a sustainable way of the RCD, and even in the initial stage of the laboratory research, it was concluded the mixture of soil-RCD analyzed are of good use in pavement, cause of your physics and mechanics properties acceptable with the norms consulted.

Key words: solid residue, paving, recycling, recycled aggregate

INTRODUÇÃO

A intensa industrialização, novas tecnologias e o crescimento populacional nos centros urbanos implicaram no agravamento, entre outros, dos problemas sociais, de saúde e de resíduos sólidos.

“Estabeleceu-se que os geradores são os responsáveis pelo resíduo produzido e que o objetivo prioritário deve ser a não geração e, caso isto não seja possível, deve-se considerar a redução, reutilização, reciclagem e disposição final (nesta ordem). No caso da disposição final, os materiais devem ser encaminhados para locais denominados *aterros de resíduos da construção civil* ou *áreas de destinação de resíduos*, e serem depositados de modo que seja possível sua utilização ou reciclagem futura” (RESOLUÇÃO CONAMA N°307, 2002).

Os resíduos da construção e demolição (RCD) por serem materiais nobres do ponto de vista da engenharia, apresentam através de ensaios

laboratoriais resistência e baixa expansão, tais características mostram o seu grande potencial de reciclagem como agregado para pavimentação (LEITE, 2007). Após passar por um processo de reciclagem, pode ser empregado nas mais diferentes aplicações como, por exemplo, na confecção de elementos pré-moldados e na execução de camadas em estruturas de pavimentos. No Brasil já existem pesquisas desenvolvidas desde a década de 80 (MOTTA, 2005).

Existem ainda os aspectos técnicos, econômicos e ambientais que devem ser inseridos no estudo de aproveitamento dos RCD, de forma que os agregados para pavimentação sejam materiais destinados a camadas de base e sub-base apresentando as seguintes vantagens (CARNEIRO *et al.*, 2001; TRICHÊS e KRYCKYJ, 1999 apud FERNANDES, 2004):

a) Utilização de quantidade significativa de material reciclado tanto na fração miúda quanto na graúda;

b) Simplicidade dos processos de execução do pavimento e de produção do agregado reciclado;

c) Possibilidade de utilização dos diversos materiais componentes do entulho (concretos, argamassas, materiais cerâmicos, areia, pedras, etc.);

d) Utilização de parte do material em granulometrias graúdas;

e) Utilização em locais com presença de água, por ser considerado material não plástico e com baixa ou nula expansibilidade;

f) Redução dos custos da administração pública municipal com a remoção do material depositado clandestinamente ao longo das vias públicas, terrenos baldios, cursos d' água e encostas;

g) Aumento da vida útil dos aterros sanitários, reduzindo a necessidade de áreas para implantação de novos aterros;

h) Diminuição nos custos de pavimentação.

RESÍDUOS SÓLIDOS

“A ABNT (1989), através da NBR-10004, define resíduos sólidos como os resíduos no estado sólido e semi-sólido que resultam de atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, de serviços de saúde, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, além de lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, lodos gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição e determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpo d'água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente

inviáveis em face da melhor tecnologia disponível” (ORSATI, 2006).

Assim como FERNANDES (2004), considera-se RCD todo resíduo de atividade de construção, seja de novas construções, reformas, demolições ou atividades de obras-de-arte, solos e resíduos de vegetação presentes em limpezas de terreno. Inclui-se a vegetação, pois a contaminação é inerente ao resíduo, devido ao poder de aderência no agregado. Por entulho ser um termo amplo, usa-se a denominação RCD, que remete a idéia da natureza dos resíduos, provenientes de atividades da construção e demolição.

PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

A coleta e disposição final de resíduos sólidos são importantes para o saneamento e higiene de áreas urbanas, removendo grandes volumes de dejetos que são deixados sem tratamento, servindo como criadouros para uma série de vetores mecânicos (animais e insetos que servem como agentes transmissores de uma série de doenças), como ratos, moscas, pulgas e mosquitos. A produção crescente de resíduos é motivo de preocupação devido à escassez de áreas adequadas para a disposição final de resíduos, pois além de apresentarem custos altos, são raras as áreas disponíveis para acomodar equipamento urbano destas dimensões.

Estes efeitos são chamados de “impactos ambientais” porque geram desequilíbrio no meio ambiente (TAUK, 2003 apud RAFAEL, 2006). Assim, podemos dizer que impacto ambiental é a alteração no meio ambiente provocada por uma determinada ação ou atividade, que precisa ser quantificada por apresentar

variação relativa, seja positiva ou negativa, intensa ou superficial (RAFAEL, 2006).

Existem legislações que foram feitas para classificar esses resíduos, bem como esclarecer qual deve ser sua disposição.

a) Resolução nº 307 da CONAMA (2002): prescreve que os resíduos de construção que podem ser reutilizados ou reciclados para a produção de agregados são aqueles que se enquadram na chamada “Classe A”. Esta categoria engloba os resíduos provenientes de: (i) construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, incluindo solos provenientes de terraplenagem; (ii) construção, demolição, reformas e reparos de edificações tais como componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, etc.), argamassa e concreto; (iii) processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios, etc.) produzidas nos canteiros de obras (MOTTA, 2005).

b) Normas da ABNT:

- NBR 15113 – Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação;
- NBR 15114 – Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Área 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.

c) Lei nº 4.653 de 21 de agosto de 2006 cria o sistema de gestão sustentável de resíduos volumosos, e o plano integrado de gerenciamento de resíduos da construção civil no município de São Luis – MA e dá outras providências. De acordo com o art. 2º, os resíduos da construção civil e os resíduos volumosos gerados no município de São Luís, nos termos do Programa de Gestão de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), devem ser destinados às áreas indicadas no art. 4º desta Lei visando sua triagem, reutilização, reciclagem, preservação ou destinação mais adequada, conforme legislação federal específica.

O PGRCC tem como princípios: facilitar a ação do conjunto dos agentes envolvidos, disciplinar sua ação institucionalizando atividades e fluxos, incentivar sua adesão tornando vantajosos os novos procedimentos, melhorar o gerenciamento e fiscalização destes agentes envolvidos.

A Prefeitura Municipal de São Luís criou um sistema de disque-entulho, em que empresas são cadastradas na Secretaria Municipal de Habitação Terras e Urbanismo (SEMTHURB), atualmente existem operando em São Luis as empresas: Lokcenter e Transentulho. Na Figura 3.1 são identificados os pontos de caixas estacionárias disponibilizadas por empresas transportadoras, na Figura 3.2 são apresentadas alguns locais de concentração dos serviços prestados pelas empresas disque-entulho, e nas Figuras 3.3 a 3.5, mostra-se alguns locais da cidade com problemas de disposição ilegal de resíduos.

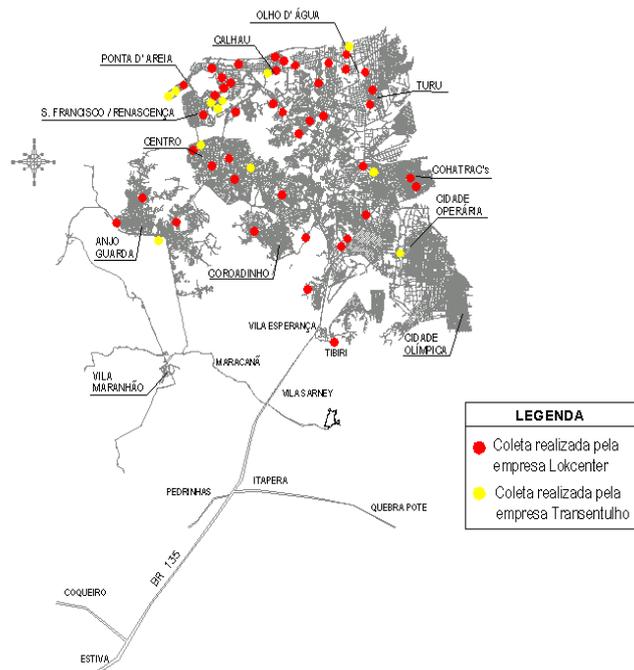


Figura 3.1 – Localização de empresas geradoras de resíduos que utilizam o serviço disque-entulho. Fonte: PGRCC, 2005

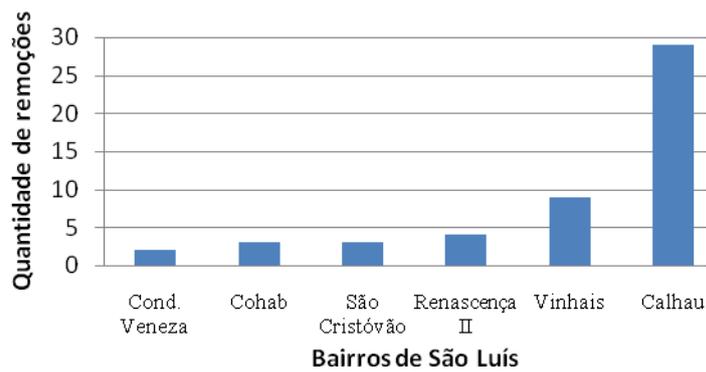


Figura 3.2 – Atuação das empresas participante do disque-entulho nos bairros.. Fonte: PGRCC, 2005.



Figura 3.3 – Disposição do RCD no Parque Amazonas - Zona Residencial



Figura 3.4 – Disposição do RCD no Bacanga - Zona Comercial



Figura 3.5 – Disposição do RCD no Bacanga (próximo a URPV) - Zona Comercial

Disposição final dos RCD em São Luís

De acordo com a resolução CONAMA, e com o PGRCC, os resíduos provenientes da construção e demolição, devem ir para locais adequados para seu armazenamento e disposição. Estes devem ter a licença da Secretaria de Meio Ambiente e o aval da Prefeitura Municipal para gerir estes resíduos.

Em São Luís existe uma unidade de recebimento de pequenos volumes (URPV), nas quais os resíduos chegam em pequenas quantidades (menores que 2m³), são separados e destinados aos seus locais adequados: os classificados como entulho são direcionados para a usina de reciclagem de entulho e os orgânicos para o aterro da Ribeira. De fato, a maioria desses resíduos (orgânicos ou não) são encaminhados para o aterro municipal da Ribeira, pois, além de só existir uma URPV em São Luís, entrou em

funcionamento há pouco tempo, a usina de reciclagem de resíduos da construção civil (URRCC), e os geradores de resíduos não tem conhecimento de sua existência.

No momento, essa URRCC de São Luís encontra-se em operação, utilizando apenas resíduos locais ou de empresas próximas da usina (buscam no local a custo zero). O objetivo da usina será receber resíduos coletados pela Prefeitura Municipal de São Luís e por empresas que tem o intuito de descartar seus RCD. Os proprietários do empreendimento requisitaram um licenciamento para que uma empresa seja escolhida para administrar a usina.

Até maio de 2009, ainda não existem compradores regulares, e o RCD pode ser separado, de acordo com a granulometria que o cliente quiser.



Figura 3.6 – Vista da usina de reciclagem. Fonte: www.limpel.com.br



Figura 3.7 – Vista da usina com britador e da boca do britador (out/08)

PAVIMENTAÇÃO COM AGREGADO RECICLADO

O uso de RCD em camadas dos pavimentos tem-se mostrado viável diante a disponibilidade deste material e da existência de uma tecnologia de reciclagem. Assim, várias cidades do Brasil e no exterior, tem utilizado agregados reciclados em pavimentos visto que seus resultados são satisfatórios, por serem alternativas muito interessantes na substituição de materiais naturais, não-renováveis, principalmente na pavimentação de vias de baixo volume de tráfego.

MOTTA (2005) cita que a utilização do RCD na pavimentação vêm ocorrendo em todo o mundo já há muitos anos. Como exemplo, alguns países europeus se uniram para a formação de um grupo chamado ALT-MAT (Alternative Materials in Road Construction) em 1999, em que analisaram em laboratório e em campo, materiais alternativos destinados aos pavimentos. Tal pesquisa durou dois

anos e os dados obtidos foram resultantes das características dos locais tais como clima e experiências realizadas em campos, que apresentaram desempenhos melhores do que os previstos em laboratório

Algumas experiências práticas no Brasil

De acordo com LEITE (2007), a primeira via pavimentada com resíduo da construção civil foi na cidade de São Paulo no ano de 1984, se localiza na zona oeste da cidade caracterizada por um baixo volume de tráfego e recebeu o RCD em sua camada de reforço de subleito. A construção teve acompanhamento executivo e de desempenho pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) e na época apresentou bom desempenho. Na Figura 5.1 apresenta-se o esquema estrutural deste pavimento, onde se percebe que as camadas de reforço do subleito e sub-base foram construídas com agregados reciclados.

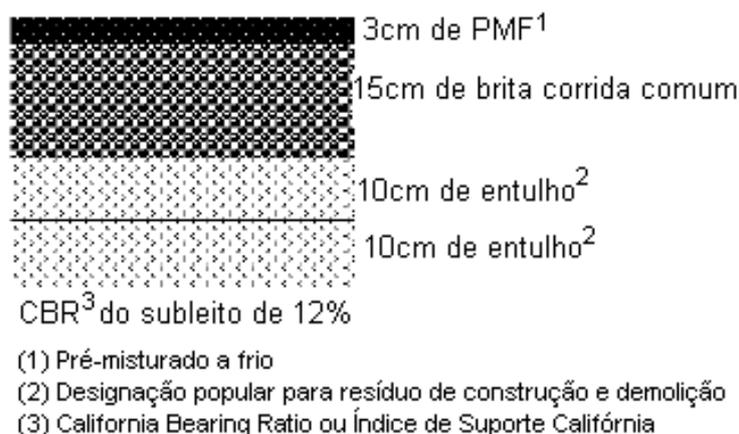


Figura 4.1 – Esquema de pavimento, segundo figura retirada de BODI et al. (1995) apud MOTTA (2005).

Desde 1996, a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte executa pavimentos com agregados reciclados em suas camadas de base e sub-base

(FERNANDES, 2004). A estrutura do pavimento é baseada no CBR dos materiais e na experiência prática de engenheiros do município. A política de

gerenciamento de resíduos em Belo Horizonte é diferenciada, uma vez que o agregado reciclado é produzido pela própria prefeitura, por meio de três estações de reciclagem, sendo produzidos dois tipos de materiais, os do tipo A (composto basicamente de concreto e argamassa) e tipo B (composto por materiais mistos, como cerâmica, concreto, argamassa e outros) (LEITE, 2007).

Estudos feitos com o resíduo na Bahia mostram a viabilidade do emprego de agregados reciclados em pavimentos. Para isso estudaram-se os agregados reciclados nas frações graúdas e miúdas, e em misturas de solos com agregados reciclados em diferentes proporções. Foram realizados ensaios de caracterização física e mecânica, como análise granulométrica, abrasão Los Angeles, compactação e CBR. Os resultados indicaram que o agregado reciclado é um material adequado à aplicação em bases e sub-bases de pavimentos (CARNEIRO *et. al*, 2001).

Obra A – Reforma



Figura 5.1 – Vista de resíduos servindo de aterro

Obra B: Construção



Figura 5.2 – Resíduos de telha, tijolo, podas

METODOLOGIA DO EXPERIMENTO DE LABORATÓRIO

A metodologia para realização dos ensaios de laboratório foi aplicada de modo a conhecer o resíduo sólido oriundo da construção civil produzido na cidade de São Luís, por meio do estudo de obras civis típicas ocorridas na cidade conforme as regiões geradoras.

Coleta de material

A coleta de resíduo da construção deu-se em duas obras: a obra “A”, localizada na Universidade Estadual do Maranhão, e a obra “B”, localizada na avenida Guajajaras. As obras escolhidas foram obras de reforma e construção, respectivamente.

Nas Figuras 5.1 e 5.2, verificam-se algumas imagens do material que era descartado nas obras escolhidas para coleta e do local da obra.

Houve também solo coletado para estudo da mistura solo-RCD. O local escolhido foi uma jazida localizada na área do Tibiri.

RESULTADOS

O objetivo do trabalho era conhecer o ciclo do RCD em São Luís além de, em laboratório, verificar as características físicas do agregado reciclado e algumas propriedades

mecânicas do solo-RCD aplicado à pavimentação. Dessa maneira, foram feitas três misturas de solo-RCD em proporções diferentes, submetidas aos ensaios de granulometria, compactação e índice de suporte Califórnia, e, a partir desses dados, verificar em qual estrutura de pavimento pode-se utilizar a mistura solo-RCD.

Tabela 6.1 – Composição das misturas utilizadas

	MISTURA 1	MISTURA 2	MISTURA 3
SOLO	70%	50%	30%
RESÍDUO	30%	50%	70%

Distribuição Granulométrica

Na Figura 6.1 encontra-se representada a distribuição granulométrica do solo

utilizado na mistura solo-RCD. O solo apresentou fina com praticamente 100% passante na peneira 0,42mm.

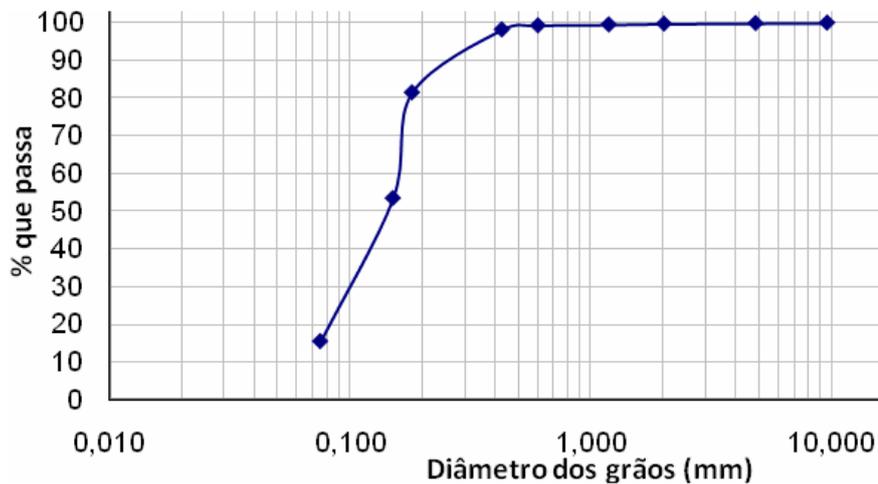


Figura 6.1 – Granulometria do solo

Na Figura 6.2 são apresentadas as curvas granulométricas das 3 misturas solo-RCD estudadas no presente trabalho.

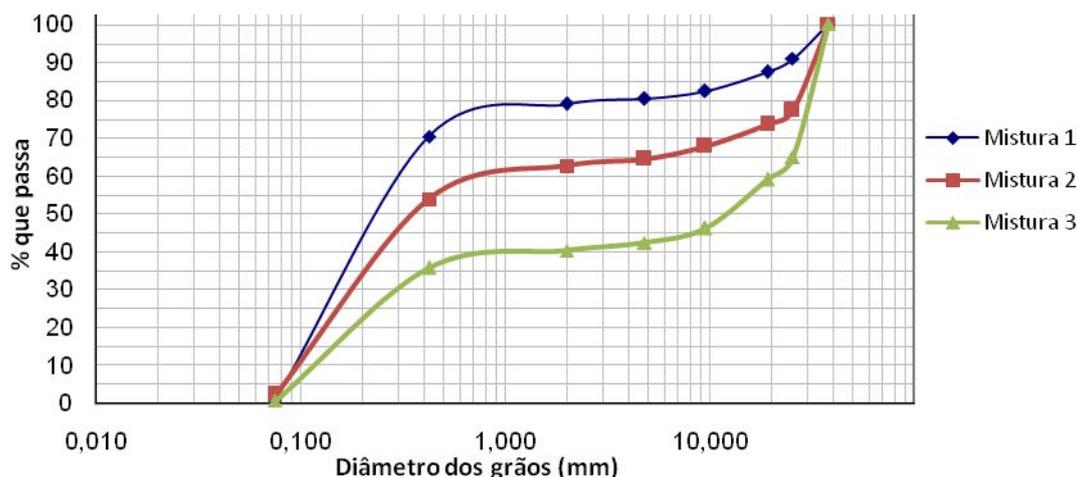


Figura 6.2 – Curva granulométrica das misturas

Com os gráficos de granulometria extraem-se os valores dos coeficientes de curvatura e uniformidade (Tabela 6.2). Como resultado, as misturas 1 e 2 apresentaram uniformidade média, com

boa graduação e continuidade média; e a mistura 3 apresentou-se desuniforme, sendo de melhor continuidade e boa graduação, pois desta maneira reduz mais os vazios existentes na sua composição.

Tabela 6.2 – Índices de forma das misturas

	CU	CC	RESULTADO
M 1	6,00	1,5	UNIFORMIDADE MÉDIA
M 2	14,00	0,88	UNIFORMIDADE MÉDIA
M 3	86,92	0,06	DESUNIFORME

A NBR 15115 exige que esses agregados reciclados obedeçam certas características quanto a sua granulometria e seu índice de forma:

- o agregado reciclado deve apresentar curva granulométrica, obtida por meio do ensaio NBR 07181, bem graduada, não uniforme, com coeficiente de uniformidade $C_u = 10$ ($C_u = D_{60} / D_{10}$);
- a porcentagem que passa na peneira 0,42 mm (nº 40) deve ficar entre 10% e 40%;
- dimensão característica máxima dos grãos: 63,5 mm (tolerância de 5% da porcentagem retida, em massa, na peneira de 63,5 mm),

limitada a 2/3 da espessura da camada compactada;

Compactação

No ensaio de compactação determinou-se a umidade ótima e o peso específico aparente seco máximo. A energia utilizada foi a intermediária, não foi feito ensaio com a energia modificada, pois não teríamos comparações com a mistura, já que para a mistura devido a pequena quantidade em estoque só foi possível realizar ensaios com a energia intermediária.

Durante a realização de cada ensaio de compactação foram moldados

cinco corpos-de-prova, sem reuso do material.

Na figura 6.3 é possível verificar que a curva de compactação para energia

intermediária, obtendo-se umidade ótima de 4,4% e peso específico aparente seco máximo $1,83 \text{ kN/m}^3$.

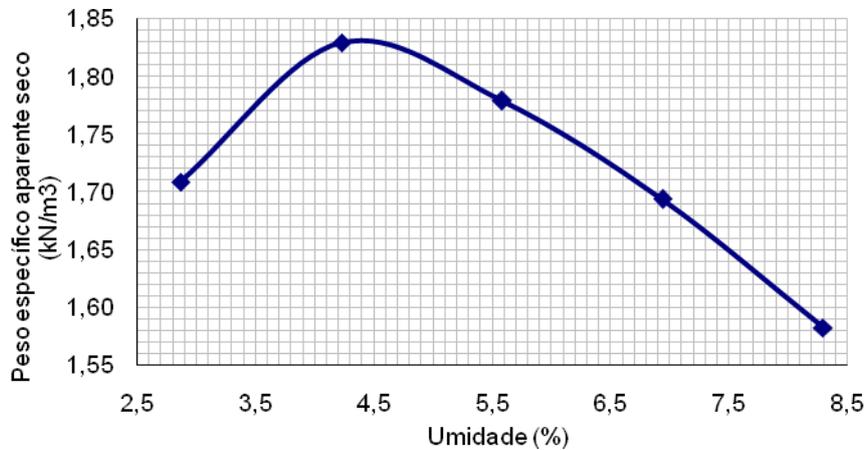


Figura 6.3 – Curva de Compactação do Solo

Nas três misturas foram realizados os ensaios de compactação, utilizando a energia Proctor intermediária com 5 camadas e 26 golpes, sendo obtidas as umidades ótimas e pesos específicos aparentes secos, mostrados nas figuras 6.3 a 6.5. As umidades ótimas foram 8,1%, 4,5% e 7,4% e os pesos específicos secos foram $1,775 \text{ kN/m}^3$, $1,864 \text{ kN/m}^3$ e

$1,932 \text{ kN/m}^3$ para as misturas 1, 2 e 3, respectivamente. Pode-se perceber que quanto maior a umidade, menor o peso específico seco.

É possível perceber na Figura 6.4, que devido a presença em maior quantidade de solo, esta curva resultou semelhante à do solo natural, com a forma bem definida.

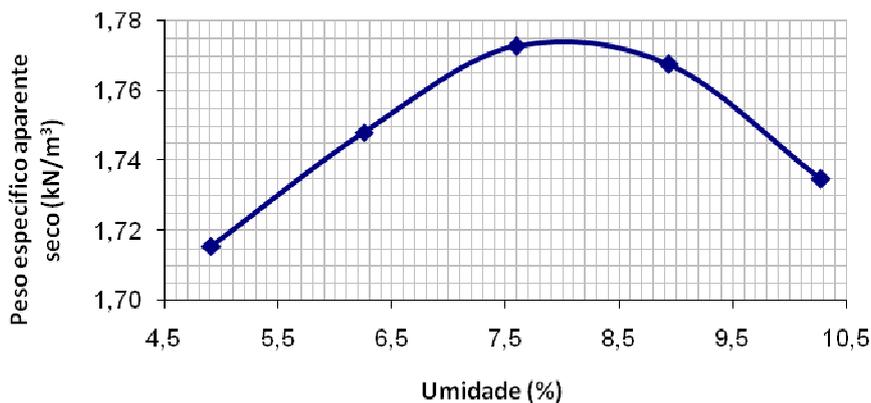


Figura 6.4 – Curva de compactação da mistura 1 (70% solo e 30% RCD)

Na Figura 6.5, observa-se que uma quantidade equilibrada de RCD e solo, modifica o formato da curva e promove uma diminuição na umidade ótima visto a

menor influência da água na densificação de uma mistura com maior percentual de resíduo, em relação à mistura anterior.

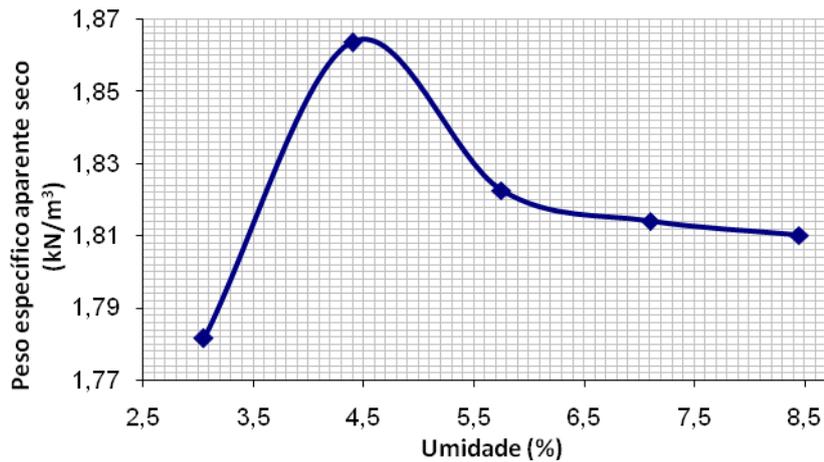


Figura 6.5 – Curva de compactação da mistura 2 (50% solo e 50% RCD)

Na Figura 6.6 representando a mistura com maior teor de RCD, verifica-se uma curva de formato diferenciado, porém a umidade ótima bem próxima àquela do solo natural, fato que pode ser associado à absorção do material reciclado, o que não explica a tendência demonstrada na mistura 2.

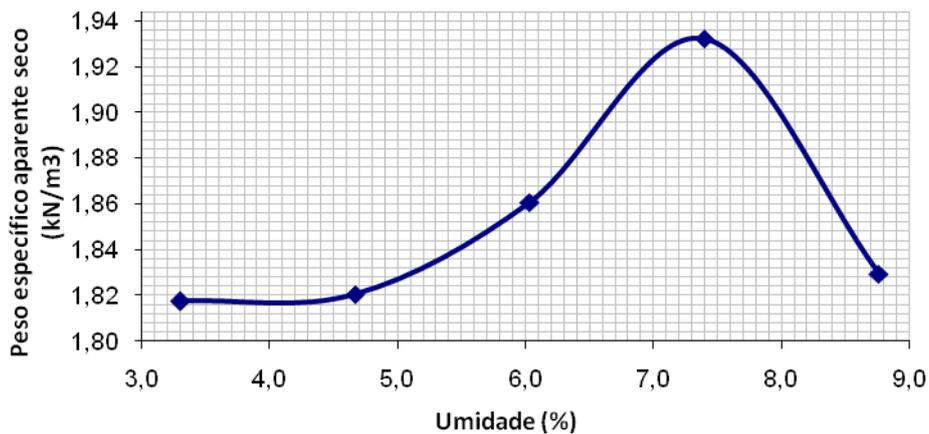


Figura 6.6 – Curva de compactação da mistura 3 (30% solo e 70% RCD)

Os resultados esperados de umidade ótima seriam decrescentes conforme maior incremento de RCD.

Índice de Suporte Califórnia

Nesta pesquisa foram ensaiados 15 corpos-de-prova, sendo selecionado três corpos de prova para cada mistura, cujos resultados são apresentados na Tabela 6.3.

Em termos de expansão, o valor apresentado para todos os corpos-de-prova foi nulo. Foi observado no ensaio que em alguns corpos-de-prova, ocorria contração, fato este, explicado pela incorporação do agregado reciclado ao solo diminuindo sensivelmente a expansibilidade deste último, conforme ocorreu com alguns pesquisadores relatados no trabalho de MOTTA(2005).

Tabela 6.3 – Valores do CBR e umidades das misturas

MISTURA 1		MISTURA 2		MISTURA 3	
CBR (%)	w (%)	CBR (%)	w (%)	CBR (%)	w (%)
4	5	63	3	20	3,3
10	6,3	28	4,4	36	4,7
6	7,6	39	5,7	60	6
24	8,9	12	7,1	67	7,4
7	10,3	16	8,5	94	8,8

Os resultados de CBR neste estudo variaram entre 24% e 94% atendendo a norma NBR 15115 (2004), conforme apresentados na tabela 6.4. Isto implica que a capacidade de suporte e expansão, da mistura solo-RCD pode ser empregada em sub-base e até mesmo como base de um pavimento (neste último caso, de baixo volume de tráfego – CBR de 60%). Não foi considerado o resultado de 94%

da mistura 3 para um teor de água de 9%, avaliado que houve alguma falha na execução do ensaio.

Com os dados da tabela 6.3, os valores médios de CBR de cada mistura são: 13%, 27% e 54% para as misturas 1, 2 e 3, respectivamente. Com estes valores, conclui-se pela Tabela 6.4 que as misturas deste trabalho atendem perfeitamente a norma NBR 15115 da ABNT.

Tabela 6.4 – Valores do CBR e expansão da norma NBR 15115. ABNT, 2004

TIPO DE CAMADA	ISC (%)	EXPANSÃO (%)	ENERGIA PROCTOR DE COMPACTAÇÃO
REFORÇO DO SUBLEITO	≥ 12	≤ 1,0	NORMAL OU SUPERIOR
SUB-BASE	≥ 20	≤ 1,0	INTERMEDIÁRIA
BASE *	≥ 60	≤ 0,5	INTERMEDIÁRIA

* Permitido o uso neste caso somente para vias de baixo volume de tráfego (que é o foco deste trabalho), com número de repetições do eixo padrão de 80kN inferior a 10⁶.

De acordo com a NBR 15115 (2004) o valor do ISC serve como parâmetro para emprego do agregado reciclado em pavimentação, de forma que são fixados valores mínimos de acordo com a função estrutural do material no pavimento, ou seja, base, sub-base ou reforço de subleito, além de considerar a expansão do agregado reciclado.

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A quantidade de entulho gerado pela construção civil quando disposto de maneira irregular acaba provocando sérios

problemas ambientais. Diversas instituições de pesquisa passaram a estudar laboratorialmente a reutilização do entulho desperdiçado, com o objetivo de desenvolver novos materiais para serem aplicados na própria indústria da construção. No presente trabalho, antes das análises laboratoriais, identificaram-se as zonas de geração do resíduo e, após a identificação das diversas áreas, pode-se observar que o RCD apesar de estar em zonas com características diferentes, apresentou a mesma caracterização visual, e os mesmos problemas ambientais ocasionados pelo bota-fora deste material.

As iniciativas de sustentabilidade do processo de geração de RCD também foram pesquisadas, através das URPV's e de uma usina recicladora.

Por meio do estudo laboratorial com o agregado reciclado de São Luís, verificou-se que este é um material constituído de cimentícios, cerâmicos vermelhos, pisos, material britado, além dos materiais indesejáveis em menor proporção, que, de acordo com a NBR 15115 tem os limites: se de grupos distintos, máximo de 3% em massa; se de mesmo grupo: máximo de 2% em massa.

Como resultados do Índice Suporte Califórnia (CBR) do solo, obteve como média 17%, considerado relativamente bom, pois de acordo com DNIT (2006) solos classificados como A-4 geralmente apresentam o valor de CBR entre 4 e 25, podendo ser utilizados como reforço de subleito. Mas, com a adição dos RCD, houve uma considerável melhora dependendo da quantidade adicionada.

Os resultados referentes ao CBR da mistura solo-RCD, considerando diferentes proporções destes materiais, foram 13% (Mistura 1), 27% (Mistura 2) e 54% (Mistura 3), respectivamente. As misturas podem ser utilizadas como sub-base (50%/50% e 70%/30%) ou reforço de subleito (30%/70%) conforme os limites impostos pela NBR 15.115 (2004), havendo assim uma considerável melhora, pois, o solo sozinho poderia somente ser usando como reforço de subleito.

Como sugestão de outros trabalhos recomenda-se:

a) Realizar ensaios de mais propriedades mecânicas tais como: deformação permanente, resistência à tração por compressão diametral, resistência por compressão simples, e módulo de resiliência;

b) Construir trechos experimentais com ensaios de controle tecnológico tais como: cone sul-africano e viga Benkelman;

c) Verificar a influência de materiais cerâmicos nas propriedades mecânicas do agregado reciclado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 15115**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

BRASIL. 4.653, 21 de agosto de 2006. Dispõe sobre a criação do sistema de gestão sustentável de resíduos volumosos, e o plano integrado de gerenciamento de resíduos da construção civil no município de São Luís. **Prefeitura Municipal de São Luís, MA.**

BRASIL. Resolução CONAMA N° 307, de 05 de julho de 2002 Dispõe sobre gestão dos resíduos da construção civil. **Ministério do Meio Ambiente.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>. Acesso em 17 out. 2007.

CARNEIRO, *et al.*, **Uso do agregado reciclado em camadas de base e sub-base de pavimentos.** Projeto Entulho Bom, pg 190-227. Salvador: EDUFBA / Caixa Econômica Federal, 2001.

FERNANDES, C. G., **Caracterização mecânica de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para uso em pavimentação dos municípios do Rio de Janeiro e de Belo Horizonte**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro. RJ, 2004.

LEITE, F. C., **Comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimentos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. SP, 2007.

MOTTA, R. S., **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. SP, 2005.

ORSATI, A. S., **Análise de impactos ambientais e econômicos na escolha de locais para disposição final de resíduos sólidos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS) da Universidade Estadual Paulista (UNESP). Ilha Solteira, SP, 2006.

RAFAEL, L. F. A., **Resíduos sólidos e evolução urbana em Santo André – SP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade

de São Paulo. SP, 2006.