

# **INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO E DA ENERGIA DE COMPACTAÇÃO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE AGREGADO RECICLADO DE RESÍDUO SÓLIDO DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

**Fabiana da Conceição Leite**  
**Liedi Légi Bariani Bernucci**  
**Rosângela dos Santos Motta**  
**Edson de Moura**

Departamento de Engenharia de Transportes  
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

## **RESUMO**

Este artigo analisa a influência da composição e da energia de compactação nas propriedades de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil, para emprego em camadas de base e sub-base de pavimentos. O material estudado é proveniente de uma usina recicladora privada localizada em Santo André, região metropolitana de São Paulo. Com relação à composição, foi verificada a influência dos materiais cimentícios e cerâmicos na absorção e na forma do agregado reciclado. Para avaliar o efeito da compactação foram utilizadas duas energias: intermediária e modificada. A análise da graduação e da forma indicou que o agregado reciclado sofre alterações físicas significativas com o processo de compactação. Além disso, os resultados apontaram um aumento do módulo de resiliência com a intensificação da compactação.

## **ABSTRACT**

This article analyses the influence of the composition and compaction energy on the properties of recycled aggregate from construction and demolition waste, for using it in base and subbase layers of pavements. The studied material is from a private recycling plant placed in Santo André, metropolitan area of Sao Paulo. Related to the composition, it was verified the influence of the cementitious and ceramic materials on absorption and shape of the recycled aggregate. For the evaluation of the effect of compaction, it was used two energies: intermediate and modified. The analysis of gradation and shape indicated that recycled aggregate undergoes physical alterations due to the compaction process. Besides, the results showed an increasing in the resilient modulus with the compaction intensification.

## **1. INTRODUÇÃO**

As principais atividades da indústria da construção civil, como construções, demolições, reformas e reparos apresentam frequentemente sobras e desperdícios. Segundo Pinto (2003), os resíduos de construção e demolição (RCD), popularmente chamados de entulhos, representam cerca de dois terços da massa total de resíduos sólidos gerados nas cidades.

Na cidade de São Paulo, estima-se que somente 30% do montante de RCD produzido cheguem aos aterros públicos, ou seja, a grande maioria é descartada irregularmente (SCHNEIDER, 2003). Assim, a preocupação com passivos ambientais e com um destino adequado para a grande quantidade de resíduos provenientes da construção civil incentiva as pesquisas na área de reciclagem destes materiais (MOTTA, 2005).

O RCD é um material nobre do ponto de vista de engenharia, pois normalmente se apresenta resistente e com baixa expansão. Estas características indicam o seu grande potencial de reciclagem, a fim de se obter agregados para a pavimentação (TRICHÊS e KRYCKYJ, 1999; MOLENAAR e VAN NIEKERK, 2002). A partir da reciclagem do RCD é obtido um novo produto: o agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil.

A norma publicada em 2004 pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a NBR 15115, fornece diretrizes sobre a execução de pavimentos com agregado reciclado em sua

estrutura. O ensaio de índice de suporte Califórnia é o principal critério de avaliação em termos de resistência para emprego dos agregados reciclados em camadas de base, sub-base e reforço do subleito.

Este trabalho tem como objetivo avaliar em laboratório a influência da composição e da energia de compactação nas propriedades físicas e mecânicas de uma amostra de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil.

São apresentados os resultados obtidos com os seguintes ensaios: absorção, granulometria, forma dos grãos e módulo de resiliência. Foi verificada a importância da determinação da composição e a sua influência na absorção e na forma do agregado reciclado. Os efeitos da compactação foram avaliados por meio dos ensaios de análise granulométrica, análise da forma e módulo de resiliência.

## **2. AGREGADO RECICLADO DE RESÍDUO SÓLIDO DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

O agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil estudado neste trabalho é proveniente de uma usina recicladora de propriedade privada localizada em Santo André. Este agregado reciclado foi empregado nas camadas de base e sub-base do pavimento do sistema viário interno do *campus* da USP Leste, localizado na zona leste do município de São Paulo.

As amostras de agregado reciclado analisadas foram coletadas durante a obra da USP Leste e transportadas até o laboratório. De acordo com o projeto do pavimento da USP Leste, o agregado reciclado deveria estar de acordo com a NBR 15115 (2004).

A Figura 1 e a Figura 2 ilustram o agregado reciclado de Santo André entregue na obra e trazido para o laboratório.



**Figura 1:** Estoque de agregado reciclado na obra da USP Leste



**Figura 2:** Agregado reciclado de Santo André trazido para o laboratório

### **2.1 Composição do agregado reciclado**

O agregado reciclado de Santo André é do tipo misto, composto por cinco grupos de materiais: (i) cimentícios (concretos e argamassas), (ii) britas, (iii) telhas e tijolos (materiais cerâmicos), (iv) pisos e azulejos (materiais cerâmicos), e (v) resíduos indesejáveis. A Tabela 1 apresenta a concentração presente de cada um desses materiais, considerando apenas a fração gráuda (retida na peneira de abertura 4,8mm).

**Tabela 1:** Porcentagem em massa dos materiais presentes na fração graúda do agregado reciclado de Santo André

Natureza do material	Concentração [%]
Cimentícios	55,3
Britas	11,8
Telhas/tijolos	15,9
Pisos/azulejos	13,5
Resíduos indesejáveis	3,5

Pela Tabela 1 apresentada, é possível verificar que a maior concentração é de materiais cimentícios (concretos e argamassas), seguida de materiais cerâmicos (telhas, tijolos, pisos e azulejos).

O agregado reciclado de Santo André apresenta ainda 1,6% em massa de materiais indesejáveis de diferentes origens. Este valor considera a fração passante e retida na peneira de abertura 4,8mm e atende a NBR 15115 (2004), que especifica um limite máximo de 3,0%.

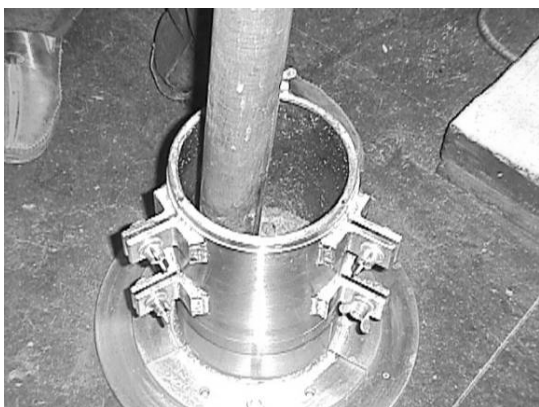
## 2.2 Compactação do agregado reciclado

O agregado reciclado analisado em laboratório foi submetido ao ensaio de compactação conforme prescreve a NBR 7182 (1986), para determinação da umidade ótima e peso específico aparente seco máximo. Como a NBR 15115 (2004) recomenda que para emprego em camadas de base o agregado reciclado seja compactado no mínimo na energia intermediária, foram realizados em laboratório ensaios de compactação empregando-se a energia intermediária e a energia modificada. Os ensaios foram realizados com o cilindro metálico grande, com substituição da parcela retida na peneira 19,0mm. A Tabela 2 apresenta os valores obtidos.

**Tabela 2:** Umidade ótima e peso específico aparente seco máximo do agregado reciclado de Santo André para as energias intermediária e modificada

Energia	Umidade ótima [%]	Peso específico aparente seco máximo [kN/m <sup>3</sup> ]
Intermediária	14,6	17,6
Modificada	13,5	18,2

Para avaliar a influência da compactação na graduação, na forma e no módulo de resiliência, foram utilizados corpos-de-prova cilíndricos, com diâmetro de 150mm e altura de 300mm. A moldagem destes corpos-de-prova não exigiu a substituição da fração retida na peneira 19,0mm, utilizando-se o material na sua forma integral. A Figura 3 e a Figura 4 ilustram o cilindro tripartido empregado e o corpo-de-prova obtido.



**Figura 3:** Compactação no cilindro tripartido de 150mm x 300mm



**Figura 4:** Corpo-de-prova de agregado reciclado de 150mm x 300mm

### 3. ENSAIOS REALIZADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

#### 3.1 Absorção

A absorção indica a quantidade de água que um agregado é capaz de absorver e é uma das diferenças mais marcantes entre o agregado natural e o agregado reciclado (CARNEIRO *et al.*, 2001). De acordo com Vieira (2004), os agregados reciclados, diferentemente dos naturais, têm uma alta taxa de absorção de água.

Para a realização do ensaio de absorção dos grãos retidos na peneira 4,8mm (pedregulho), utilizou-se a NBR 6458 (1984). Dividiu-se a amostra em diferentes grupos, de acordo com a natureza dos seus materiais constituintes (cimentícios, britas, telhas/tijolos, pisos/azulejos ou resíduos indesejáveis).

A absorção foi obtida primeiramente para cada grupo de material e, em seguida, a absorção do conjunto foi calculada por uma média ponderada. A Tabela 3 apresenta os valores de absorção encontrados de acordo com a natureza dos materiais constituintes.

**Tabela 3:** Absorção dos grãos retidos na peneira 4,8mm do agregado reciclado de Santo André de acordo com natureza dos seus constituintes

Natureza do material	Absorção [%]
Cimentícios	11,5
Britas	3,8
Telhas/tijolos	20,7
Pisos/azulejos	11,1
Resíduos indesejáveis	18,4

Por meio da Tabela 3 verifica-se a grande diferença de absorção entre os materiais constituintes do agregado reciclado. Em função da forte presença de resíduos de argamassa, a fração cimentícia do agregado reciclado desta pesquisa apresentou uma absorção alta (11,5%). Materiais cerâmicos, como telhas e tijolos, apresentaram uma absorção muito elevada (20,7%), comparados com as britas (3,8%). Este fato evidencia a importância da determinação dos constituintes do agregado reciclado, pois quanto mais material cerâmico, mais poroso será o conjunto. Por meio de uma média ponderada, utilizando-se as

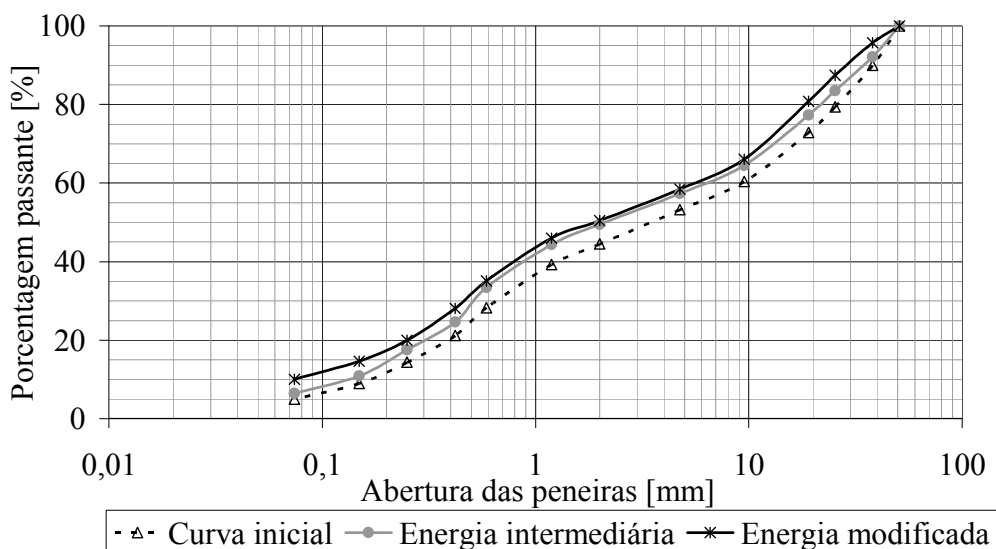
concentrações de cada material constituinte, verificou-se que a absorção da fração gráuda do agregado reciclado de Santo André é de 12,2%.

### 3.2 Análise granulométrica

Primeiramente foi determinada a distribuição granulométrica de uma amostra de agregado reciclado virgem, sem sofrer compactação. O agregado reciclado de Santo André empregado na USP Leste apresenta dimensão característica máxima de 50,0mm.

Para avaliar as modificações na granulometria do material, foram realizados dois ensaios de granulometria após a compactação. Foram moldados dois corpos-de-prova com 150mm de diâmetro e 300mm de altura: um na energia intermediária e outro na energia modificada.

O ensaio de granulometria foi feito de acordo com a NBR 7181 (1984). Após a compactação o material foi desmoldado, levemente destorreado e submetido à lavagem na peneira 0,075mm. A Figura 5 apresenta a curva granulométrica inicial do agregado reciclado de Santo André e depois da compactação nas energias intermediária e modificada.



**Figura 5:** Curvas granulométricas do agregado reciclado de Santo André antes e depois da compactação, em relação à porcentagem passante

Analisando a Figura 5 é possível verificar que ocorreram modificações na porcentagem passante em todas as peneiras utilizadas. Após o emprego da energia intermediária, o agregado reciclado de Santo André sofre quebras e com a aplicação da energia modificada estas quebras continuam ocorrendo. Este fato reforça a importância da energia de compactação elevada, obtendo-se a maior quebra possível dos grãos durante a execução. Assim, durante a vida útil do pavimento, o problema de degradação é minimizado, evitando possíveis afundamentos ou mesmo rupturas indesejadas.

A análise desta degradação do agregado é muito importante, pois apesar da NBR 15115 (2004) prescrever alguns aspectos referentes à granulometria, durante a aplicação e compactação ocorrem alterações. Assim, um material que não atendesse inicialmente o projeto, poderia após a sua quebra estar de acordo com o especificado. A Tabela 4 apresenta

os aspectos quanto à graduação contemplados pela NBR 15115 (2004) e os valores obtidos com o agregado reciclado de Santo André.

**Tabela 4:** Valores obtidos e limites fixados pela NBR 15115 (2004) com relação à graduação

Autor	Dimensão característica máxima dos grãos [mm]	Porcentagem que passa na peneira 0,42mm [%]	Coefficiente de uniformidade ( $C_u$ )
Inicial	50,0	21,2	53
Após compactação na energia intermediária	50,0	25,0	43
Após compactação na energia modificada	50,0	28,0	74
NBR 15115 (2004)	63,5	$10 \leq a \leq 40$	$\geq 10$

Observa-se que houve uma significativa alteração nos valores de porcentagem passante na peneira 0,42mm e de coeficiente de uniformidade ( $C_u$ ). O aumento dos valores de  $C_u$  depois da compactação nas energias intermediária e modificada deve-se a maior quantidade de finos passantes nas peneiras de diâmetro equivalente a 10%.

Para complementar o estudo das alterações na granulometria, foi determinado o índice de degradação de Ruiz (ID). O índice de degradação de Ruiz é obtido a partir do somatório dos deslocamentos  $\Delta i$  da curva granulométrica em cada peneira, dividido pelo número de peneiras usadas no ensaio (VALLE, 1994 *apud* BUZATTI, 1987). O ID é obtido pela expressão (1):

$$ID = \frac{\sum \Delta i}{n} \quad (1)$$

onde  $ID$ : índice de degradação de Ruiz;  
 $n$ : número de peneiras utilizadas no ensaio; e  
 $\Delta i$ : deslocamentos da curva granulométrica.

A Tabela 5 apresenta os resultados de ID obtidos após o emprego da energia intermediária e modificada.

**Tabela 5:** Índice de degradação de Ruiz para o agregado reciclado de Santo André

Parâmetros	Energia empregada	
	Intermediária	Modificada
Índice de degradação de Ruiz (ID)	3,7	6,3
Deslocamento máximo	5,1 (# 0,60mm)	8,1 (# 25,0mm)
Deslocamento mínimo	1,5 (# 0,075mm)	5,1 (# 0,075mm)
Desvio padrão	1,3	1,0

Pelos resultados apresentados é possível concluir que o ID cresce com o aumento da energia de compactação. As menores modificações ocorreram na peneira 0,075mm, tanto para a energia intermediária como para a modificada. Já o deslocamento máximo ocorreu em peneiras diferentes para os dois casos analisados: 0,60mm na intermediária e 25,0mm na modificada. Além disso, pode-se observar que o deslocamento máximo da curva para a energia intermediária corresponde ao deslocamento mínimo da modificada.

### 3.3 Análise da forma

A determinação da forma foi feita de acordo com a norma NBR 6954 (1989) e utilizando-se quatro frações do agregado reciclado: retido nas peneiras 38, 25, 19 e 9,5mm. A análise da forma é feita com um paquímetro, medindo-se comprimento (a), largura (b) e altura (c) de cada grão, classificando o material como cúbico, alongado, lamelar e alongado-lamelar.

Para a análise da influência da energia de compactação na forma do agregado reciclado foram utilizados os mesmos corpos-de-prova de 150mm de diâmetro por 300mm de altura empregados na análise granulométrica.

Primeiramente foi analisada a forma de uma amostra de agregado reciclado virgem, sem sofrer compactação. Em seguida, após a determinação das modificações granulométricas, foram feitas as medições com o paquímetro nas frações retidas nas peneiras 38, 25, 19 e 9,5mm. Os resultados são apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6:** Forma dos grãos e porcentagens antes e após a compactação

Situação	Classificação da forma	Presença [%]
Inicial	Cúbica	55,7
	Alongada	5,5
	Alongada-lamelar	0
	Lamelar	38,8
Após compactação na energia intermediária	Cúbica	68,0
	Alongada	3,0
	Alongada-lamelar	0
	Lamelar	29,0
Após compactação na energia modificada	Cúbica	69,0
	Alongada	2,0
	Alongada-lamelar	0
	Lamelar	29,0

De acordo com a Tabela 6 verifica-se que a amostra analisada apresentava inicialmente 38,8% dos grãos com forma lamelar. O material antes da compactação não estava de acordo com a NBR 15115 (2004), que especifica até 30% de grãos lamelares para os agregados reciclados. Contudo, após a compactação na energia intermediária, a presença de grãos lamelares diminuiu para 29,0%, ou seja, o agregado reciclado passou a atender a norma.

Pelos dados apresentados é possível verificar que após a compactação o material passa a ter um leve aumento de partículas com forma cúbica, do mesmo modo que diminui a presença de grãos lamelares e alongados. Este fato é decorrente da quebra durante o processo de compactação. Contudo, observa-se que a forma não sofre grandes alterações com o emprego

da energia modificada, em relação ao uso da energia intermediária. Este fato demonstra que as alterações mais importantes na forma ocorrem nos primeiros golpes, diferentemente da granulometria, que continua a sofrer modificações com a intensificação da compactação.

As alterações observadas na graduação e na forma ilustram e evidenciam a importância de se controlar as propriedades físicas do material após a sua compactação. Inicialmente o agregado reciclado pode não estar de acordo com a especificação ou norma. Contudo após a sua compactação e a ocorrência das quebras, o material se transforma e pode passar a atendê-la, ou vice-versa.

Foi analisada ainda a forma de acordo com a natureza dos materiais. Por meio de uma análise visual, cada grão analisado do material antes da compactação foi classificado conforme sua origem. A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos.

**Tabela 7:** Forma dos grãos de acordo com a natureza do agregado reciclado de Santo André

Natureza do material	Cúbica [%]	Alongada [%]	Lamelar [%]
Cimentícia	63,4	18,2	15,4
Rochosa (Britas)	20,5	9,1	5,1
Telhas/Tijolos	15,2	54,5	29,5
Pisos/Azulejos	0,9	18,2	50,0

Dessa forma, pode-se concluir que os grãos de forma cúbica são em sua maioria de natureza cimentícia ou rochosa (britas). Já a forma lamelar é predominante nas partículas de materiais cerâmicos, como telhas, tijolos, pisos e azulejos. A fração alongada, pouco presente na amostra analisada, também ocorreu principalmente nos grãos de natureza cerâmica. Assim, quanto maior a concentração de materiais cerâmicos, maior é a tendência do agregado reciclado em apresentar grãos com forma lamelar; quanto maior a concentração de materiais cimentícios, maior é a tendência do agregado reciclado em apresentar grãos com forma cúbica. Esta característica é essencial para o entendimento do arranjo dos grãos e do volume de vazios que este material apresentará em campo após a compactação. O comportamento do material compactado é muito afetado pelas características deste arranjo, decorrente da forma e natureza dos constituintes.

### 3.4 Módulo de resiliência

Para determinar o módulo de resiliência foram utilizados quatro corpos-de-prova com 150mm de diâmetro e 300mm de altura. Dois corpos-de-prova foram compactados na energia intermediária e dois na energia modificada.

O ensaio foi realizado com um equipamento triaxial de carga repetida. Para a determinação do módulo de resiliência foram utilizados os níveis de tensões apresentados no método de ensaio DNER-ME 131/94 (1994).

Neste trabalho o módulo de resiliência é apresentado pelos modelos (2) e (3):

$$M_R = k_1 \sigma_3^{k_2} \quad (2)$$

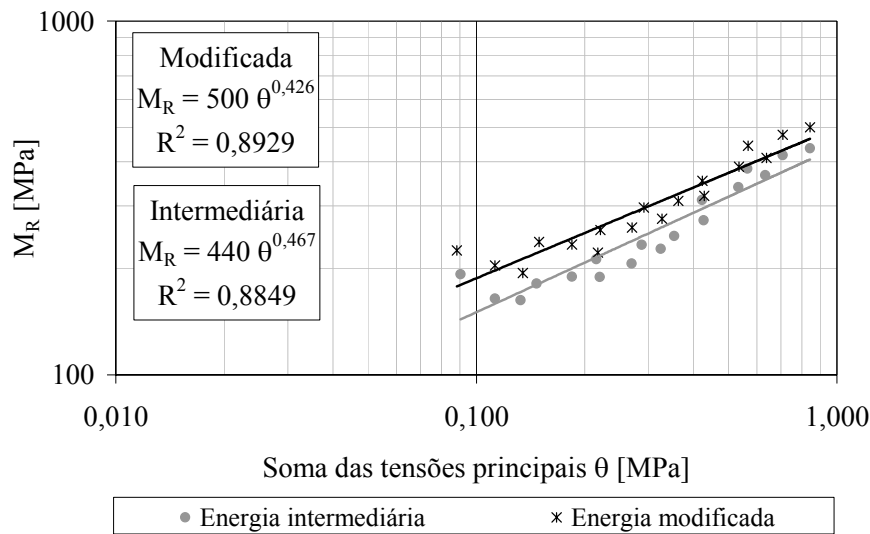
$$M_R = k_1 \theta^{k_2} \quad (3)$$



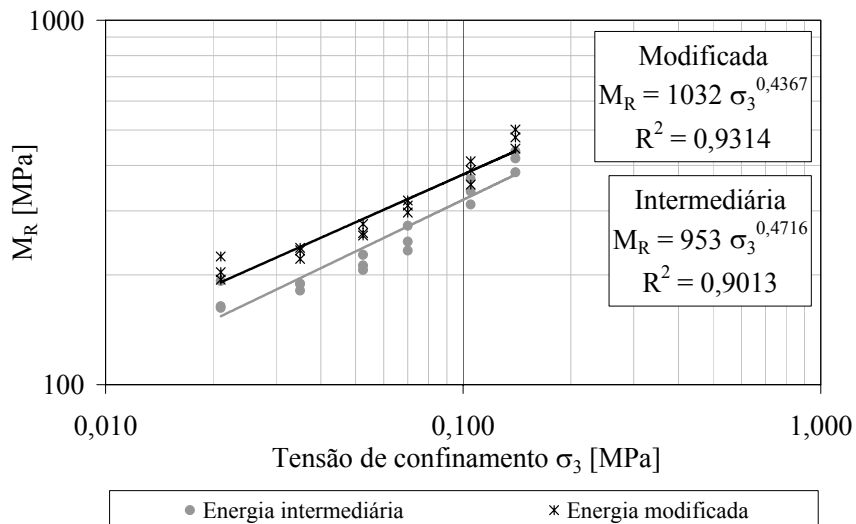
onde

$M_R$ : módulo de resiliência, em [MPa];  
 $k_1, k_2$ : parâmetros obtidos com o ensaio;  
 $\sigma_3$ : tensão de confinamento, em [MPa];  
 $\theta$ : soma das tensões principais, em [MPa].

A Figura 6 e a Figura 7 apresentam os gráficos do módulo de resiliência com a média dos resultados para os ensaios nas energias intermediária e modificada, para os modelos em função de  $\theta$  e em função de  $\sigma_3$ , respectivamente. Juntamente com as figuras são apresentadas as respectivas equações.



**Figura 6:** Módulo de resiliência do agregado reciclado de Santo André utilizando o modelo em função de  $\theta$



**Figura 7:** Módulo de resiliência do agregado reciclado de Santo André utilizando o modelo em função de  $\sigma_3$

De acordo com os resultados obtidos, é possível verificar que houve um aumento no valor do módulo de resiliência em função do acréscimo de energia aplicada. O módulo de resiliência

para a energia intermediária variou de 160MPa a 440MPa, de acordo com o nível de tensões aplicado. Para a energia modificada, o módulo de resiliência ficou entre 200MPa a 500MPa, em função nível de tensões aplicado, mostrando uma redução na deformabilidade com o aumento de energia em torno de 10% a 20%.

Analisando a Figura 7 verifica-se ainda que o comportamento mecânico do agregado reciclado é fortemente dependente da tensão de confinamento ( $\sigma_3$ ), em função das inclinações das retas obtidas.

A Instrução de Projeto da PMSP-IP-08 (2002) apresenta estimativas de valores de módulo de resiliência para materiais granulares, para que seus projetistas possam avaliar deformações, tensões e deflexões na estrutura do pavimento. De acordo com o documento citado, a estimativa do módulo de resiliência para uma camada de base granular apresenta-se entre 100MPa e 500MPa. Assim, conforme os resultados obtidos nos ensaios aqui realizados, o material poderia ser empregado como uma camada de sub-base e base.

É importante verificar o comportamento do agregado reciclado em relação à sua deformação permanente, em função dos problemas observados de mudança de forma e quebras, que poderiam ocorrer durante a operação da via.

#### **4. CONCLUSÕES**

Os resultados indicaram que a composição do agregado reciclado influencia na suas propriedades físicas. A absorção de água dos grãos do agregado reciclado retidos na peneira 4,8mm depende muito da natureza dos materiais. Verificou-se que os materiais cerâmicos, como telhas e tijolos, apresentam uma absorção muito elevada em relação às britas e aos materiais cimentícios. Conclui-se que quanto maior a concentração de materiais cerâmicos muito porosos, como telhas e tijolos, maior será a absorção do conjunto agregado reciclado.

A natureza dos materiais afeta ainda a forma dos agregados. Observou-se para o agregado reciclado de Santo André que quanto maior a concentração de materiais cerâmicos, maior é a tendência do material em apresentar grãos com forma lamelar. De forma análoga, quanto maior a concentração de materiais cimentícios, maior é a tendência do agregado reciclado em apresentar grãos com forma cúbica. Portanto, quanto maior a presença de material cerâmico, mais provável a variação de graduação por compactação.

Outro aspecto considerado neste trabalho foi o efeito da energia de compactação nas propriedades físicas e mecânicas do agregado reciclado. Verificou-se que a graduação do material é alterada com a compactação, e depende ainda da energia aplicada. A compactação na energia intermediária provoca quebras expressivas; com a energia modificada estas rupturas continuam ocorrendo. Com o aumento de energia promoveu-se uma quebra mais significativa em peso dos agregados graúdos, com produção de agregados de menor dimensão e finos.

Com relação à forma após o emprego da energia intermediária, a porcentagem de grãos com forma cúbica aumentou (de 55,7% para 68,0%) e de grãos lamelares diminuiu (de 38,8% para 29,0%). Com o emprego da energia modificada não foram observadas diferenças consideráveis em relação ao uso da energia intermediária, indicando que as principais alterações na forma ocorrem com os primeiros golpes da compactação.

Desta forma, a seleção ou recusa do material baseado essencialmente na granulometria e na forma inicial pode ser um critério equivocado. É importante analisar as alterações que o agregado reciclado sofre após o processo de compactação e avaliar sempre suas propriedades mecânicas e não apenas suas características físicas.

Os ensaios de módulo de resiliência apresentaram uma melhora no comportamento do agregado reciclado de Santo André com a compactação na energia modificada. O módulo de resiliência para a energia intermediária variou de 160 a 440MPa, e para a energia modificada ficou entre 200 a 500MPa, de acordo com o estado de tensões durante o ensaio. Pelos resultados de módulo de resiliência observados em laboratório neste trabalho e na literatura, o módulo de resiliência de agregados reciclados do tipo misto está em torno de 200MPa a 300MPa (BERNNERT *et al.*, 2000; FERNANDES, 2004; MOTTA, 2005; LEITE, 2007). Este valor de módulo é comumente encontrado para britas graduadas simples.

Apesar da redução da deformabilidade com o aumento de energia ser de 10% a 20%, o que poderia afetar pouco em termos de dimensionamento estrutural, o uso da energia modificada implica em maior quebra de partículas e melhora do embricamento entre elas, contribuindo assim para o aumento da estabilidade do material e da resistência ao cisalhamento e para a redução da deformação permanente.

#### **Agradecimentos**

Os autores agradecem à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e à Reitoria da USP, em especial ao Prof. Antonio Massola da COESF (Coordenadoria do Espaço Físico da USP) pela adoção do pavimento com materiais reciclados na USP Leste.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ABNT (2004) *NBR 15115 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1989) *NBR 6954 – Lastro Padrão: determinação da forma do material*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1986) *NBR 7182 – Solo: ensaio de compactação*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1984) *NBR 7181 – Solo: análise granulométrica – Método de ensaio*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1984) *NBR 6458 – Grãos de pedregulho retidos na peneira de 4,8 mm – determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- Bennert, T.; W. J. Papp Jr.; A. Maher e N. Gucunski (2000) Utilization of construction and demolition debris under traffic-type loading in base and subbase applications. *Transportation Research Record*, Washington, n.1714, p.33-39.
- Buzatti, D. J. (1987) *Índice de abrasão Los Angeles e índice de degradação: análise comparativa para diversas naturezas de agregados*. Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais, Publicação Técnica nº. 23, Belo Horizonte.
- Carneiro, A. P.; P. C. Burgos e E. P. V. Albete (2001) Uso do Agregado Reciclado em Camadas de Base e Sub-base de Pavimentos. In: *Projeto Entulho Bom*. EDUFBA /Caixa Econômica Federal, pg 190-227, Salvador.
- DNER (1994) *DNER ME 131/94: Solos - Determinação do módulo de resiliência*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- Fernandes, C. G. (2004) *Caracterização mecanística de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição dos municípios do Rio de Janeiro e de Belo Horizonte para uso em pavimentação*. 109p.

- Dissertação (Mestrado) – Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE-UFRJ). Rio de Janeiro.
- Leite, F. C. (2007) *Comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para emprego em camadas de base e sub-base de pavimentos*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Molenaar, A. A. A.; A. A. Van Niekerk (2002) Effects of gradation, composition, and degree of compaction on the mechanical characteristics of recycled unbound materials. *Transportation Research Record*, Washington, n.1787, p.73-82.
- Motta, R. S. (2005) *Estudo Laboratorial de Agregado Reciclado de Resíduo Sólido da Construção Civil para Aplicação em Pavimentação de Baixo Volume de Tráfego*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Pinto, T. P. (2003) Projeto e implantação da usina de reciclagem de entulho. In: Seminário de resíduos sólidos urbanos. Lixo e Entulho – Recursos Recicláveis. *Anais*. Publicado por Japan International Cooperation Agency. Atibaia.
- PMSP (2002) *PMSP/SP IP – 08: Análise mecanicista à fadiga de estruturas de pavimento*. Prefeitura do Município de São Paulo, Secretaria de Infra-estrutura Urbana. São Paulo. Disponível em: <[http://ww2.prefeitura.sp.gov.br/arquivos/secretarias/infraestruturaurbana/normas\\_tecnicas\\_de\\_pavimentacao/ip08.pdf](http://ww2.prefeitura.sp.gov.br/arquivos/secretarias/infraestruturaurbana/normas_tecnicas_de_pavimentacao/ip08.pdf)>. Acesso em 04 de dez. 2006.
- Schneider, D. M. (2003) *Deposições Irregulares de Resíduos da Construção Civil na Cidade de São Paulo*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Trichês, G. e P. R. Kryckyj (1999) Aproveitamento de Entulho da Construção Civil na Pavimentação Urbana. *Anais do IV Congresso Brasileiro de Geotecnica Ambiental*, REGEO'99, São José dos Campos, p.259-265.
- Valle, N. (1994) *Utilização de solos residuais saprolíticos na pavimentação rodoviária em Santa Catarina*. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- Vieira, G. L.; D. C. C. Dal Molin e F. B. Lima (2004) Resistência e durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição. *Revista Engenharia Civil*. Universidade do Minho. Número 19, p.5-18. Disponível em: <<http://www.civil.uminho.pt/cec/revista/revista.htm>>. Acesso em: 01 de ago. 2006

---

Fabiana da Conceição Leite (fdcleite@gmail.com)

Liedi Legi Bariani Bernucci (liedi@usp.br)

Rosângela dos Santos Motta (rosangela.motta@poli.usp.br)

Edson de Moura (edmoura@usp.br)

Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Av. Prof. Almeida Prado, Trav. 2, nº 83 – São Paulo, SP, Brasil