

Utilização de resíduos de construção e demolição como revestimento primário em estradas não-pavimentadas

Use of construction and demolition waste as a primary coating on unpaved roads

Paulo Roberto Garcia¹; Gabriella Faina Garcia²; Erlon Lúcio Ribeiro³

¹ Professor de Engenharia Civil, Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), Uberaba, Minas Gerais, Brasil. E-mail: eng.prgarcia@gmail.com

³ Engenheira Mecânica, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, São Paulo, Brasil. E-mail: gabifgarcia@gmail.com

³ Engenheiro Civil, Universidade de Uberaba (UNIUBE), Uberaba, Minas Gerais, Brasil. Orcid: E-mail: ribeiro73@gmail.com

RESUMO: O tema sustentabilidade hoje é almejado em todos os setores da economia brasileira, principalmente nos ramos que interagem diretamente com o meio ambiente. A construção civil é um significativo setor que atua na transformação do meio, por isso deve ser preocupar em usar os recursos naturais sem impactar violentamente o planeta. A arquitetura sustentável é uma ferramenta adotada no setor para que a construção altere minimamente o meio ambiente em que está inserida, utilizando a maior quantidade possível de elementos de origem natural e garantindo um aproveitamento racional dos recursos necessários para iluminar e ventilar os ambientes; de forma a reduzir os desperdícios nessas áreas. A busca atual por medidas sustentáveis desencadeia diversos fatores para o reaproveitamento e reciclagem de materiais. A construção civil, sendo um dos maiores setores responsáveis pelo alto volume de produção de resíduos vincula suas necessidades em atuar de maneira sustentável à solução de um problema: onde depositar “entulhos” gerados pelo desenvolvimento. Utilizando-se os RCD de diversas formas como na constituição dos pavimentos, confecção de elementos pré-moldados de concreto, composição na massa asfáltica em pavimentos flexíveis e no concreto em pavimentos rígidos etc, atenua-se o impacto ambiental gerado pelo setor e os custos são reduzidos. Nesse aspecto, e objetiva-se a utilização de resíduos de construção e demolição (RCD) como revestimento primário em estradas não-pavimentadas (sem revestimento asfáltico). Para isso, análises sobre a viabilidade de se implantar os RCD em substituição aos agregados naturais para construção de estradas foram efetuadas.

Palavras-chave: Resíduos de construção; Demolição; Construção civil; Pavimentação; Revestimento Primário.

ABSTRACT: The sustainability issue today is targeted at all sectors of the Brazilian economy, especially in the fields that interact directly with the environment. The construction industry is a significant sector that operates in the transformation of the environment, so it should be worry about using natural resources without impacting the planet violently. The sustainable architecture is a tool adopted in the construction industry to minimally change the environment in which it operates, using the largest possible amount of naturally occurring elements and ensuring a rational use of resources needed to illuminate and ventilate the rooms, so reducing waste in these areas. The current quest for sustainable measures several factors triggers for reuse and / or recycling of materials. The building, one of the largest sectors responsible for the high volume of waste binds needs to act in a sustainable manner to the solution of a problem: where to deposit "debris" generated by the development. Using the waste from construction and demolition of various ways to build up the floor, making precast concrete, asphalt composition in flexible pavements and concrete in rigid pavements etc, attenuates the environmental impact generated by sector and costs are reduced. In this respect, and the goal is to use construction and demolition waste (CDW) as a primer coat on unpaved roads (without coating asphalt). For this analysis on the feasibility of implementing the CDW to replace natural aggregates for road construction were made.

Keywords: Construction Waste; Demolition; Construction; Paving; Primary Coating.

INTRODUÇÃO

A preocupação com o destino dos resíduos sólidos vem aumentando significativamente nos últimos anos, principalmente no que tange a área da construção civil. Os resíduos de construção e demolição (RCD) constituem a maior porção, em massa, dos resíduos sólidos gerados no mundo. Os resíduos oriundos da construção civil são em média 0,5 ton/hab.ano para cidades de médio e grande porte, podendo-se estimar que, no Brasil, são produzidos 68.500.000 toneladas de resíduos por ano.

A relevância do descarte desses resíduos encontra-se no grande volume que os mesmos ocupam, assim como sua deposição em locais inadequados. Estudos apontam que até 40% dos resíduos da construção civil são descartados de maneira incorreta, gerando um custo anual para o município de até R\$4.500.000,00; além de promover enchentes, riscos à população, proliferação de vetores nocivos à saúde, interdição parcial de vias e degradação do ambiente urbano.

Assim, buscam-se maneiras alternativas para utilização dos RCD, enfatizando-se a importância de sua reciclagem. Os RCD podem ser reciclados na forma de agregados através de um beneficiamento, constituído basicamente de operações de triagem, britagem e peneiramento. Os agregados reciclados podem ser classificados, de acordo com sua constituição predominante, em dois grupos: agregados reciclados de concreto (ARC) e agregados reciclados mistos (ARM).

A **Figura 1** mostra o beneficiamento dos RCD em uma máquina que tritura o resíduo, separando o aço que também pode ser reutilizado. São formadas verdadeiros morros de RCD, que posteriormente são peneirados para classificação de acordo com granulometria.

Figura 1: Beneficiamento dos RCD



Fonte: CODASP (2010)

O equipamento para beneficiamento dos RCD recebe o material descartado, que é inserido na parte superior, onde será iniciada a britagem, como é demonstrado na **Figura 2**.

Figura 2: Lâminas para britagem dos RCD



Fonte: CODASP (2010)

Em seguida, o material passa por duas esteiras. Uma recebe o aço retirado de estruturas de concreto armado, e outra recebe os resíduos de concreto, blocos etc. Esses pontos podem ser observados nas **Figuras 3 e 4** respectivamente.

Figura 3: Esteira para destinação do aço



Fonte: CODASP (2010)

Figura 4: Esteira para destinação do resíduo após britagem



Fonte: CODASP (2010)

No que tange a utilização dos RCD como agregados, pode-se citar a composição em base e sub-base de pavimentos, confecção de elementos pré-moldados de concreto, composição na massa asfáltica em pavimentos flexíveis e no concreto em pavimentos rígidos. Outra proposta para utilização dos RCD é substituição do agregado natural (brita) em estradas rurais não pavimentadas.

No estado de Minas Gerais existem 7.224 km de estradas não pavimentadas, sendo

algumas em má-conservação a ponto de serem intransitáveis em períodos chuvosos, entre os piores trechos sem pavimentação no Estado estão importantes rodovias, como a BR-356, entre Muriaé e Ervália (54 km), na zona da Mata; a BR-367, entre Almenara e Salto da Divisa (102,9 km), no Vale do Jequitinhonha; e a BR-352, entre Patos de Minas e Coromandel (99,3 km), no Alto Paranaíba.

Para amenizar os impactos negativos nessas rodovias, o DER a realiza rotineiramente serviços emergenciais de recuperação do trecho, com patrulhamento, escoamento das águas das chuvas e colocação de cascalho nos pontos críticos. Porém essas medidas resolvem o problema temporariamente. Neste sentido, avalia-se a possibilidade de se executar um projeto de revitalização dessas rodovias sem a utilização de pavimento asfáltico, empregando-se revestimento que utiliza os RCD.

Modelo como esse já é empregado no Estado de São Paulo, onde estradas esburacadas ganham um novo revestimento, também de terra, porém regular, que reaproveita o que normalmente apenas faria volume nos aterros sanitários e lixões. Além de proporcionar maior conforto e segurança ao usuário da via, esse modelo busca preservar os recursos naturais, especialmente a água e o solo, prevenindo e controlando a erosão.

O custo de conservação das estradas rurais é reduzido e sua vida útil é alongada, assim como há redução do custo de transportes dos insumos e produtos agrícolas. Uma pesquisa feita pelo Departamento de Transporte e Geotecnia da Unicamp (Universidade Estadual de Campinas) coordenada pelo professor Diógenes Cortijo Costa, mostra que cerca de 30% da produção agrícola se perde por falta de condições adequadas de transporte.

Esse trabalho objetiva viabilizar a utilização dos resíduos da construção e demolição (RCD) como revestimento primário em estradas rurais não pavimentadas. Para isso, deve-se identificar o estado de conservação de uma estrada não pavimentada; avaliar as condições para realização do projeto de reestruturação dessa estrada e propor a implantação do projeto de reestruturação da estrada com revestimento primário em RCD.

MATERIAL E MÉTODOS - ESTADO DA ARTE

Para a realização do trabalho, a pesquisa de alguns tópicos se faz necessária, além da escolha de onde se implantar o trabalho proposto. Os estudos serão realizados em uma empresa do estado de São Paulo, que executa obras de conservação de estradas rurais não pavimentadas para um projeto Governo do Estado. Atualmente, utiliza-se para o revestimento primário das estradas o agregado natural basalto, conhecido como pedra brita, cada vez mais escasso devido à aceleração do setor da construção civil. A proposta é substituir o basalto por reciclado da construção civil, sendo que para britar o reciclado, seria utilizado um equipamento já adquirido pela empresa que ainda não está em uso.

Alguns fatores já foram estudados pela empresa, como o custo do reciclado utilizando-se o próprio equipamento, sendo de R\$10,00 por m³, 4 (quatro) vezes menor que a utilização de brita (R\$ 40,00 por m³). Além disso, a redução de 1/3 dos entulhos gerados na construção civil foi analisada por engenheiros da empresa, utilizando-se os RCD. Os testes e ensaios serão realizados no laboratório de uma filial da empresa situada no município de São José do Rio Preto – SP.

Por se tratar de um método de estudo quantitativo, a identificação e quantificação dos resíduos disponíveis assim como sua caracterização se tornam o primeiro passo para a realização. Seguindo roteiro para a determinação de parâmetros para estudos da viabilidade do trabalho torna-se mais consistente para a determinação de dados quantitativos dos resíduos, como a quantidade nacional gerada, os locais de produção e a sua periculosidade.

O segundo passo apontado é a caracterização do resíduo, com um estudo das características físico-químicas e as propriedades dos resíduos, através de ensaios e métodos apropriados. Alguns ensaios são essenciais, como: análise granulométrica, características físicas e ambientais, escolha da proporção das misturas, ensaio de compactação e ensaio de CBR.

A análise granulométrica dos agregados deverá ser realizada segundo o descrito na norma NBR 7181/84. Já as características físicas dos materiais empregados em

pavimentação estão intrinsecamente relacionadas à estabilidade que estes apresentarão quando sujeitos à ação imposta pelo tráfego de veículos e pelos agentes climáticos. Para classificação ambiental, serão realizados os ensaios de lixiviação e solubilização, de acordo com as normas NBR 10005/04 e NBR 10006/04, respectivamente.

A escolha da proporção das misturas é encontrada na norma NBR 15115/04, intitulada “Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil - Execução de Camadas de Pavimentação – Procedimentos”, que não especifica faixas granulométricas para o emprego deste material. Contudo, estabelece que os seguintes aspectos devam ser observados: a porcentagem de material passante na peneira 0,42mm deve se situar entre 10% e 40%; a dimensão característica máxima dos grãos deve ser inferior a 63,5 mm; e coeficiente de uniformidade deve ser maior ou igual a 10.

Após definidas as proporções das misturas, deverão ser conduzidos os ensaios de compactação para a determinação dos respectivos valores de massa específica seca máxima e umidade ótima. Esses ensaios serão realizados de acordo com o descrito na norma NBR 7182/84. O Índice de Suporte Califórnia (CBR) é um dos parâmetros exigidos pela norma NBR 15115/04 para o emprego de agregados reciclados de resíduos de construção civil em pavimentação. Assim, o ensaio de CBR deverá ser realizado conforme o especificado pela norma DNER-ME 049/94.

A investigação da variabilidade das fontes de fornecimento de matérias-primas se faz importante, pois é possível operar com matérias-primas bastantes variáveis sendo controladas as características do produto principal, porém a composição do resíduo será variada, podendo conter excesso de impurezas. A utilização de materiais com muitas “impurezas” não compatíveis com as características necessárias à utilização no trabalho pode onerar o processo, diminuindo-se sua viabilidade.

De acordo com as características físico-químicas dos resíduos, são avaliadas as aplicações tecnicamente viáveis a partir de sua reciclagem. Como regra geral, tais aplicações são aquelas que melhor aproveitam as suas

características. Assim, a aplicação não deve ser feita em torno de idéias pré-concebidas.

A avaliação do material reciclado deve ser em relação ao seu desempenho e a sua durabilidade. O desempenho de componentes tem por objetivo analisar a adequação ao uso. A durabilidade é um aspecto fundamental no desempenho, afetando o custo global da solução e o impacto ambiental do sistema. O objetivo final do estudo de durabilidade é estimar a vida útil, definida como período de tempo durante o qual a obra vai apresentar desempenho satisfatório, nas diferentes condições de uso.

É importante que o desempenho ambiental das alternativas de reciclagem sejam avaliados além dos usuais testes de lixiviação. Estes ensaios foram desenvolvidos para análise de risco ambiental de resíduos quando depositados em aterros. Geralmente, é utilizado apenas pelos órgãos de fiscalização do meio ambiente, e nem sempre com bom senso, sendo usado até mesmo como argumento para impedir processos de tratamento e de reciclagem de resíduos.

O desenvolvimento da obra a partir do resíduo selecionado compreende as etapas de pesquisa laboratorial para o desenvolvimento de tecnologia básica, seguindo do desenvolvimento da tecnologia aplicada que envolve o processo de produção e ferramentas de gestão e controle da qualidade.

A reciclagem vai ocorrer apenas se o novo material entrar em escala comercial. Assim, a transferência da tecnologia é uma etapa essencial do processo. Para ela o preço do produto é importante, mas não é suficiente. A colaboração entre os diversos atores envolvidos no processo - geradores do resíduo, potenciais consumidores, agências governamentais encarregadas da gestão do ambiente e das instituições de pesquisa envolvidas - é fundamental para o sucesso da reciclagem, e deverá ocorrer preferencialmente desde o momento em que a pesquisa se inicia.

ESTUDO DE CASO

Para atender a demanda do grande número de estradas não pavimentadas existentes no estado de São Paulo, o governo desenvolveu um projeto que revitaliza essas estradas e aumenta sua vida útil. Esse projeto

tem foco principal estradas utilizadas para escoamento da produção agrícola, ou ainda para retirada de trânsito de caminhões de pequenas cidades do interior. São utilizadas medidas simples, porém efetivas para proporcionarem aos usuários estradas com boa plataforma de rolagem. As estradas rurais não pavimentadas são projetadas de maneira diferente às obras viárias convencionais. No desenvolvimento dos projetos das estradas, foram levantados os principais motivos que desregulam as plataformas.

A primeira causa é a água das chuvas, que percolam pela pista, causando erosão. O segundo ponto é a manutenção executada na estrada, na maioria das vezes de forma errada. A manutenção é realizada com motoniveladora, que é utilizada para regularização da plataforma. Essa medida utilizada repetidas vezes retira solo do leito da estrada, rebaixando-o e aumentando os barrancos nas bordas da pista. Dessa maneira, a água da chuva concentra-se no solo mais baixo, aumentando a erosão na plataforma.

Outro aspecto é a declividade da pista, que aumenta quando o leito é rebaixado nas manutenções, permitindo que a água das chuvas alcancem altas velocidades. Alguns aspectos são adotados para aumentar a durabilidade da estrada, diminuindo o tempo entre manutenções, sendo eles: abaulamento da pista, para diminuir o acúmulo de água na pista; execução de lombadas, para redução da velocidade da água na pista; execução de terraços, para destinar a água retirada da pista devido ao abaulamento.

O primeiro método utilizado foi o abaulamento da pista de rolagem, que impede a formação de acúmulo de água na estrada. O leito da estrada que se encontra rebaixado é projetado para que depois de concluída a obra fique em um nível superior às bordas, permitindo que a água saia da pista.

Outra medida é a construção de lombadas, que diminuem a velocidade da água na pista e permite o seu escoamento para os terraços, uma estrutura construída junto às lombadas para reter a água que sai da estrada. Os terraços armazenam a água retirada da pista através do abaulamento e/ou da lombada, aumentando a absorção de água pelo solo, alimentando o subsolo. Estruturas de drenagem superficial e/ou profunda também

podem ser construídas se necessário, além de bacias de captação.

As medidas citadas aumentam a vida útil das estradas não pavimentadas, e quando realizadas manutenções adequadas, essas estradas podem ter vida útil de 07 (sete) anos sem perder as propriedades iniciais. Após esse período o revestimento primário começa a desagregar, sendo necessária uma nova execução do mesmo. O revestimento primário atualmente é realizado com pedra brita, porém esse agregado pode ser substituído pelo RCD, fonte de estudo em uma obra.

Para uma melhor compreensão do método de execução de estradas não pavimentadas serão avaliadas 2 (duas) obras em paralelo, sendo a primeira, uma obra realizada no município de Santa Adélia - SP no ano de 2010, com a utilização do revestimento primário com agregado brita de basalto, e a segunda obra uma estrada teste no município de Mirassolândia - SP no mesmo ano, onde foram aplicados resíduos da construção e demolição como substituto ao basalto no revestimento primário para avaliação do seu desempenho.

Para execução da obra, primeiro é realizado um levantamento dos requisitos do cliente, onde serão apontadas as necessidades de cada município referente àquela obra. A visita é realizada por um engenheiro agrônomo e um técnico em agrimensura, que logo em seguida, iniciam o levantamento topográfico. Esse levantamento é realizado com GPS, onde os dados levantados são lançados em uma planilha para entrada de dados coletados no campo.

Os dados levantados e lançados nessa planilha são: trecho a ser executado, lançantes existentes, comprimento do trecho, alturas de barrancos existentes, declividade, largura da pista existente. Com posse desses dados é possível calcular todas as intervenções necessárias à execução da obra, como número de lombadas e terraços a serem executados, determinação de afastamento lateral, distâncias entre lombadas, declividade da pista acabada, dimensões de terraços, faixa de intervenção de lançantes, volume movimentado na quebra de barranco, área de raspagem e devolução, volume movimentado na construção de lombadas, volume movimentado na construção de terraços.

Próximo passo adotado é a execução da orçamentação, onde são avaliados os itens: levantamento de requisitos do cliente, controle tecnológico (ensaios de laboratório e acompanhamento de campo), projeto e topografia, acompanhamento e entrega técnica de obra, transporte de equipamento e manutenção, locação de obra, transporte, alimentação e pouso: tabela de recolhimento de taxas DPRN. São avaliados outros parâmetros que são utilizados esporadicamente, apenas em obras específicas: terraceamento de áreas lindeiras, bacias de contenção, tubulação de fluxo transversal, drenagem profunda, vegetação de taludes e canais, retirada e colocação de cercas, canaletas de concreto, destoca de áreas lindeiras, bota-fora, aterro/ reposição de solo, subsolagem do fundo dos terraços.

Realizada a orçamentação, verifica-se os custos, onde são calculados os custos unitários de operações, de acordo com os rendimentos observados e custos de horas máquinas utilizados. Para determinação das horas máquina utilizadas, são levantadas as máquinas necessárias para execução de cada trecho da obra. Por fim, é realizado o plano de trabalho, que contém todos os dados descritos acima, e que discrimina cronograma de execução, contrapartida do município e todo o projeto que é executado.

No plano de trabalho consta também o esboço da estrutura atual da estrada e da proposta de implantação, como mostram as **Figuras 5 e 6** respectivamente.

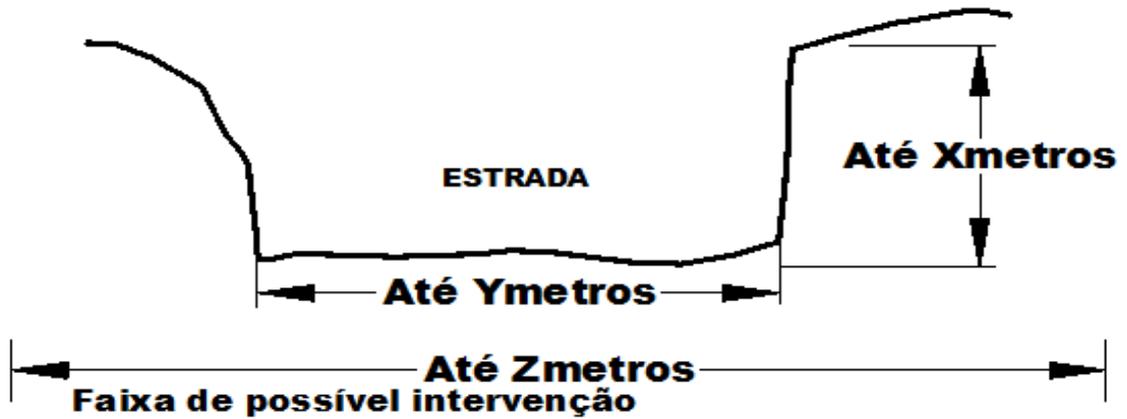
Com o plano de trabalho em mãos, a empresa inicia a execução da obra, que segue todo o detalhamento do levantamento realizado. Algumas ações são importantes para o prolongamento da vida útil da estrada, sendo essas de responsabilidade do cliente ao receber a obra concluída.

Primeira delas é providenciar a vegetação e a manutenção dos taludes, canais, terraços e bacias de captação, para que os mesmos possam desempenhar as funções que foram projetadas.

Realizar, no período de estiagem, as limpezas das bacias de captação e/ou terraços, de forma a garantir a capacidade de armazenamento das águas da chuva por estas estruturas, e manter desobstruídos os canais

de escoamento ou admissão, visando à estabilidade da obra implantada.

Figura 5: Situação projetada - seção transversal
CORTE TRANSVERSAL (A - A')

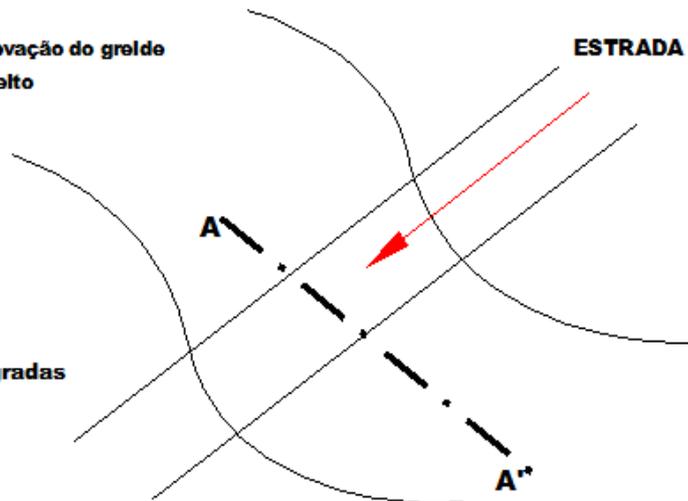


Fonte: CODASP (2003)

Figura 6: Situação atual - seção transversal

- * Adequação da plataforma c/ elevação do grelde
- * Regularização da plataforma / leito

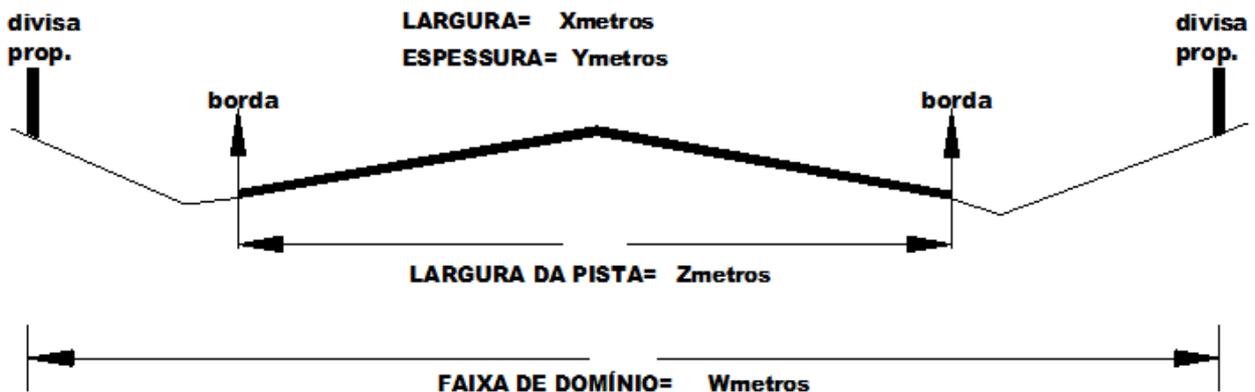
- * Estruturas
Lombadas c/ sangrias integradas
a segmentos de terraços
ou bacias de captação



CORTE TRANSVERSAL (A - A')

- * Abaulamento da pista de rolamento
- * Construção de sarjetas (em terra)
- * Tratamento primário da pista

LARGURA= X metros
ESPESSURA= Y metros



Fonte: CODASP (2003)

Inspecionar (ainda no período de estiagem) a plataforma da estrada, para verificar se as lombadas estarão direcionando as enxurradas para as bacias de captação e/ou terraços, e corrigir, com a reposição de material, eventuais depressões que possam formar poças d'água na pista de rolamento, na estação chuvosa. As estruturas de drenagem também devem ser inspecionadas para permitir o escoamento previsto. A altura das lombadas dimensionadas no projeto não deve ser reduzida e as saídas de água para os canais de escoamento ou admissão não podem ser obstruídas. O deslocamento das motoniveladoras, em serviços de raspagem, dos pontos de cotas mais baixos da estrada para os mais altos, favorece a manutenção das lombadas e do abaulamento da pista de rolamento. Efetuar a manutenção da área vegetada, nas faixas laterais da pista de rolamento, com o auxílio de uma roçadeira. Nunca utilizar a motoniveladora para "raspar" a vegetação, e não permitir a manobra ou o deslocamento de grades ou outros implementos agrícolas, que possam danificar a pista de rolamento ou a plataforma da estrada.

3.1 Estrada não pavimentada com emprego de basalto como revestimento primário

A execução da obra no município de Santa Adélia veio para suprir a demanda de uma alternativa para retirar o trânsito pesado de caminhões de transporte de cana-de-açúcar das ruas da cidade. Para solucionar o problema foi ampliada uma estrada não pavimentada que contorna a cidade, fazendo com que os caminhões transitem ao redor da cidade, e não mais em seu interior. A obra foi iniciada em março de 2010 e concluída em junho de 2010, sendo a execução de 9,2 km de estrada não pavimentada (2,2 km de adequação e 7 km de abertura de estrada), com revestimento primário em pedra brita nº 2 (basalto). A obra foi conhecida como "Rodoanel Caipira", que beneficiou toda a população da cidade e também os produtores rurais.

A **Figura 7** registra a imagem de um trecho da estrada antes da execução da obra. A presença de barrancos e a existência de uma pista de rolamento estreita dificultava o trânsito

de mão dupla, principalmente quando se tratava de trânsito de caminhões.

Figura 07: trecho antes da execução da obra



Fonte: CODASP (2010)

O levantamento realizado para definição dos parâmetros para execução da obra permitiu o desenvolvimento da **Figura 8**, que retrata a planilha de dimensionamento da obra onde se determina o número de lombadas, número e seção dos terraços, distâncias entre as lombadas e declividade.

O comprimento total da pista foi de 9.201,38 m, sendo a largura da plataforma de 10m, sendo 7m pista de rolamento e 1,5 m de sarjeta em cada lado da pista. O total de lombadas é de 119 unidades, com 238 terraços. A base da estrada possui espessura de 0,20 m, com umidade ótima de 10% calculada em laboratório. O revestimento primário da estrada é de 0,15 m de espessura e conta com 70% de solo e 30% de agregado (pedra brita nº2), sendo a proporção de mistura 1,00 de solo para 0,36 de agregado, ou ainda 2,8 de solo para 1,00 de agregado. A participação de solo na composição da base compactada é de 1,26m³/m³, e a participação de agregado é de 0,45 m³/m³ de base compactada. A umidade ótima do revestimento primário é de 6,20%, a massa específica aparente de 2.245 kg/m³, peso específico do solo de 1.250 kg/m³ e peso específico da brita de 1500 kg/m³.

O dimensionamento das lombadas é realizado em planilha específica, que utiliza os dados do levantamento e do dimensionamento da obra a **Figura 9** mostra o detalhamento do dimensionamento das lombadas.

Para a execução da obra foram necessários os seguintes equipamentos: para execução de limpeza da área trator de esteira 7D, caminhão basculante e pá carregadeira; para adequação da plataforma foram utilizados trator de esteira 7D, motoniveladora e rolo compactador pé de carneiro; para regularização do leito foram utilizados trator de esteira 7D, motoniveladora, rolo compactador

pé de carneiro, caminhão basculante e pá carregadeira, para construção das estruturas foi utilizada motoniveladora, para revestimento primário pá carregadeira, caminhão basculante, motoniveladora, trator de pneu, rolo compactador e caminhão pipa; e por fim, para aterros e reposição de solos foram utilizados trator de esteira 7D, pá carregadeira, caminhão basculante e motoniveladora.

Figura 8: Dimensionamento de obra

DIMENSIONAMENTO DA OBRA								
TRECHOS	LANÇANTES	COMPRI/OS	DECLIV//ES	DIST. MÉDIAS	Nº DE	TERRAÇOS	FAIXA DE	RELAÇÃO
			MÉDIAS	ENTRE LOMB.	LOMBADAS	SEÇÃO MIN.	INTERVENÇÃO	DE CORTE
Trecho 1	Lançante nº 1	1.357,57 m	3,00%	72,00	18,00	2,40 m ²	171,00 m	4,16 :1
Trecho 1	Lançante nº 2	756,85 m	2,00%	76,00	9,00	2,68 m ²	172,00 m	4,16 :1
Trecho 1	Lançante nº 3	1.518,34 m	3,00%	72,00	21,00	2,30 m ²	172,00 m	4,16 :1
Trecho 1	Lançante nº 4	1.972,17 m	3,00%	72,00	27,00	2,33 m ²	171,00 m	4,16 :1
Trecho 1	Lançante nº 5	868,11 m	2,00%	76,00	11,00	2,52 m ²	171,00 m	4,16 :1
Trecho 1	Lançante nº 6	1.228,56 m	1,00%	80,00	15,00	2,61 m ²	171,00 m	4,16 :1
Trecho 1	Lançante nº 7	847,43 m	1,00%	80,00	10,00	2,70 m ²	171,00 m	4,16 :1
Trecho 1	Lançante nº 8	652,26 m	1,00%	80,00	8,00	2,60 m ²	161,00 m	4,16 :1

Fonte: CODASP (2010)

Figura 9: Dimensionamento de obra

Sobrelevação da Crista da lombada			0,20 m		
TABELA					
Declividade de Rampa	Compri/º Total em (m)	Posição de Montante	Volume Mínimo (m ³ /m.l.)	Volume Máximo (m ³ /m.l.)	Volume Médio (m ³ /m.l.)
0% a 1%	16,00 m	0,50%	1,60	2,13	1,87
1% a 2%	16,00 m	0,44%	1,60	2,13	1,87
2% a 3%	20,00 m	0,43%	2,00	2,72	2,36
3% a 4%	19,00 m	0,39%	1,90	2,66	2,28
4% a 5%	17,00 m	0,40%	1,70	2,36	2,03
5% a 6%	18,00 m	0,38%	1,80	2,55	2,18
6% a 7%	17,00 m	0,36%	1,70	2,46	2,08
7% a 8%	17,00 m	0,37%	1,70	2,43	2,07
8% a 9%	18,00 m	0,34%	1,80	2,67	2,24
9% a 10%	17,00 m	0,35%	1,70	2,49	2,10
acima de 10%	17,00 m	0,26%	1,80	3,12	2,46

Fonte: CODASP (2010)

A **Figura 10** mostra a execução da adequação da estrada, com a quebra de barrancos para regularização do leito da estrada. O volume movimentado para quebra de barrancos foi de 14.487,00 m³ de solo, pois os barrancos possuíam altura média de 0,81 m. Na Figura, o barranco apresentava 1,5m de altura.

Figura 10: Foto área da estrada em Santa Adélia - SP



A **Figura 11** apresenta imagem do mesmo trecho da obra logo após sua conclusão.

Figura 11: Foto da estrada adequada em Santa Adélia - SP



Fonte: CODASP (2010)

As lombadas e terraços estão bem definidos na **Figura 11**, que possibilita também a visualização de uma estrada em nível mais elevado que o terreno. O leito da plataforma foi elevado em média 16%, ou seja, 0,07 m. Os terraços possuem seções diferentes, pois seu dimensionamento considera a declividade do terreno sendo sua capacidade de

armazenamento de água de 17.356,00 m³. As lombadas são projetadas para dar suavidade no trânsito, fazendo com que os usuários não tenham que reduzir drasticamente sua velocidade, visto que a pista de rolagem gera conforto e segurança àqueles que a utilizem.

A **Figura 12** apresenta imagem aérea da obra acabada. O custo final da obra foi de R\$ 482.770,49, sendo R\$ 52.696,26/km.

Figura 12: Foto aérea da estrada em Santa Adélia - SP



Fonte: CODASP (2010)

A **Figura 13** mostra o revestimento realizado com solo e brita conforme projetado. Com a utilização de impermeabilizantes, o agregado que se encontra solto na superfície da pista de rolagem adere-se ao solo. Como se trata de uma estrada rural, não é viável o trânsito em alta velocidade, mesmo com uma pista confortável.

Figura 13: Foto do revestimento executado na estrada em Santa Adélia - SP



Fonte: CODASP (2010)

Como se pode visualizar na **Figura 13**, a brita ao ser agregada ao solo úmido resulta em um revestimento que diminui agressões à estrutura do pavimento, permitindo assim uma estrada regularizada sem a necessidade de se utilizar o revestimento asfáltico. A utilização do pé de carneiro na compactação desse revestimento torna-o mais resistente, reduzindo-se a desagregação da brita decorrente do tráfego.

Porém alguns inconvenientes ainda estão presentes em estradas não pavimentadas, como a existência de poeira. Para reduzir a poeira durante o tráfego, algumas medidas estão sendo adotadas, como a aplicação de resíduo de cana do processo de fabricação do açúcar, e a utilização de um impermeabilizante conhecido no mercado como *top seal*. Nessa obra foi utilizado no trecho que se encontra próximo à cidade o resíduo de cana, que foi reaplicado anualmente. Não foi realizado nenhum estudo para verificar se o processo aumentou a durabilidade da pista.

3.2 Estrada não pavimentada com emprego de resíduos de construção e demolição como revestimento primário

A execução da obra no município de Mirassolândia - SP foi apenas para conservação de estradas rurais que recebiam excedente trânsito de caminhões, devido ao escoamento da produção rural da região. A obra foi iniciada em setembro de 2010 e concluída em março de 2011, sendo a execução de 4,1 km de estrada não pavimentada, com revestimento primário em resíduos de construção e demolição. Como o trecho a ser executado é de apenas 4,1 km, a empresa optou por utilizar os RCD para verificar a viabilidade de sua implantação.

A Figura 14 apresenta condições da estrada antes do início das obras. Podem-se avaliar os impactos da água das chuvas na plataforma da estrada, com a presença de buracos e barro, dificultando o trânsito. Percebe-se também o início da formação de barrancos nas bordas da estrada, decorrente de manutenções inadequadas com o equipamento motoniveladora. A largura média da estrada é de 6,80 m.

Figura 14: Foto da estrada em Mirassolândia - SP antes do início das obras



Fonte: CODASP (2010)

O levantamento de dados é realizado da mesma maneira que na obra de Santa Adélia, pois o parâmetro que difere as obras é apenas o revestimento primário. A **Figura 15** retrata a planilha de dimensionamento da obra, que determina o número de lombadas, número seção dos terraços, distâncias entre as lombadas e declividade.

Cada lançante representa um ponto de subida ou descida do terreno, de forma que cada alteração de lançante é alteração de aclave para declive ou vice-versa.

O comprimento total da pista foi de 4.106,00 m, sendo a largura da plataforma de 10m, onde 7m de pista de rolamento e 1,5 de sarjeta em cada lado da pista. O total de lombadas é de 52 unidades, com 104 terraços. A base da estrada possui espessura de 0,20 m, com umidade ótima de 11,62% calculada em laboratório. O revestimento primário da estrada é de 0,15 m de espessura e conta com 64% de solo e 36% de agregado (RCD), sendo a proporção de mistura 1,00 de solo para 0,47 de agregado. A participação de solo na composição da base compactada é de 1,515³/m³, e a participação de agregado é de 0,54 m³/m³ de base compactada. A umidade ótima do revestimento primário é de 8,20%, a massa específica aparente de 2.245 kg/m³, peso específico do solo de 1.250 kg/m³ e peso específico do RCD de 1350 kg/m³.

Figura 15: Dimensionamento de obra

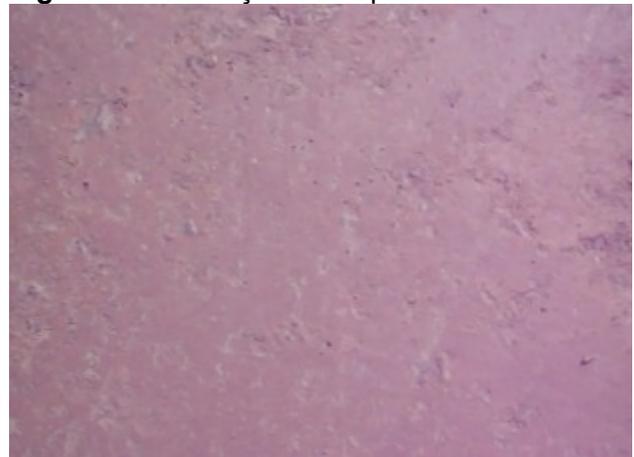
DIMENSIONAMENTO DA OBRA								
TRECHOS	LANÇANTES	COMPRI//OS	DECLIVI//ES	DIST. MÉDIAS	Nº DE	TERRAÇOS	FAIXA DE	RELAÇÃO
			MÉDIAS	ENTRE LOMB.	LOMBADAS	SEÇÃO MIN.	INTERVENÇÃO	DE CORTE
Trecho 1	Lançante nº 1	1.001,00 m	2,89%	74,00	13,00	2,41 m ²	166,70 m	4,58 :1
Trecho 1	Lançante nº 2	335,00 m	1,49%	80,00	4,00	2,62 m ²	166,50 m	4,58 :1
Trecho 1	Lançante nº 3	768,00 m	2,99%	74,00	10,00	2,40 m ²	167,00 m	4,58 :1
Trecho 1	Lançante nº 4	576,00 m	5,55%	62,00	9,00	2,00 m ²	167,68 m	4,58 :1
Trecho 1	Lançante nº 5	139,00 m	2,56%	74,00	1,00	4,35 m ²	168,00 m	4,58 :1
Trecho 1	Lançante nº 6	634,00 m	2,10%	76,00	8,00	2,48 m ²	166,68 m	4,58 :1
Trecho 1	Lançante nº 7	304,00 m	0,32%	80,00	3,00	3,17 m ²	166,00 m	4,58 :1
Trecho 1	Lançante nº 8	349,00 m	1,43%	80,00	4,00	2,73 m ²	166,50 m	4,58 :1

Fonte: CODASP (2010)

Para a execução da obra foram necessários os seguintes equipamentos: para execução de limpeza da área trator de esteira 7D, caminhão basculante e pá carregadeira; para execução de adequação da plataforma foram utilizados trator de esteira 7D, motoniveladora e rolo compactador pé de carneiro; para regularização do leito foram utilizados trator de esteira 7D, motoniveladora, rolo compactador pé de carneiro, caminhão basculante e pá carregadeira, para construção das estruturas foi utilizada motoniveladora, para revestimento primário foram utilizados pá carregadeira, caminhão basculante, motoniveladora, trator de pneu, rolo compactador e caminhão pipa; e por fim, para aterros e reposição de solos foram utilizados trator de esteira 7D, pá carregadeira, caminhão basculante e motoniveladora. Compuseram a mão de obra: operadores de máquinas, técnico em agrimensura e engenheiro agrônomo.

Para construção das lombadas serão utilizados 2,66 m³/m de lombada. Já para construção de terraços serão movimentados 22.714,14 m³ de solo, sendo 2,73 m³/m de terraço construído. Os terraços em sua totalidade terão a capacidade de armazenamento de 20.556,61m³ de água. Para reduzir a poeira durante o tráfego nessa obra foi utilizado o *top seal*. O produto foi aplicado apenas na conclusão da obra, e demonstrou ser eficiente no que tange a impermeabilização da pista. A **Figura 16** mostra o solo após a aplicação do produto.

Figura 16: Utilização do Top Seal



Fonte: CODASP (2010)

A **Figura 17** mostra a obra acabada.

Figura 17: Foto da estrada em Mirassolândia - SP



Fonte: CODASP (2010)

Figura 18: Foto aérea da estrada em Mirassolândia - SP



Fonte: CODASP (2010)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo de caso realizado com dados das duas obras permite a avaliação do desempenho do revestimento primário em estradas não pavimentadas quando utilizado o agregado brita e o agregado RCD. Fotos expostas demonstram que os RCD desempenham com a mesma qualidade as características do revestimento realizado com solo brita.

A **Figura 19** apresenta imagem da obra em Santa Adélia 3 anos após sua conclusão. Pela imagem pode-se perceber que não houve degradação da pista de rolamento, sendo mantidas as propriedades desde sua conclusão. As estruturas dos terraços e das lombadas também não foram danificadas. Para que a estrada se mantivesse em bom estado de conservação, a prefeitura do município realizou adequadamente as manutenções, seguindo todas as recomendações da empresa executora.

Além disso, a empresa acredita que a aplicação dos resíduos das usinas de açúcar e álcool na pista permitiu uma impermeabilização do solo, diminuindo as agressões ocorridas pela água das chuvas, em conjunto às ações definidas em projeto.

Figura 19: Foto da estrada em Santa Adélia - SP com obra concluída após 3 anos



Fonte: CODASP (2013)

A **Figura 20** apresenta imagem da obra de Mirassolândia 2 anos após sua conclusão. Pela imagem pode-se perceber que a pista não sofreu deterioração, porém há maior quantidade de solo solto, quando comparada a obra de Santa Adélia. Nesse trecho não houve aplicação de impermeabilizante, o que permitiu a desagregação do solo.

As estruturas das lombadas e terraços encontram-se em bom estado de conservação, permitindo assim que desempenhem as funções para que foram projetados.

Figura 20: Foto da estrada em Mirassolândia - SP com obra concluída após 2 anos



Fonte: CODASP (2013)

CONCLUSÕES

O presente trabalho avaliou a utilização de resíduos da construção e demolição (RCD) no revestimento primário de estradas não pavimentadas. Para isso, realizou estudo em duas obras, a primeira uma obra que utiliza o agregado brita para revestimento primário, e a segunda utilizando os RCD.

Para avaliar a viabilidade de substituição da brita pelos RCD, a empresa realizou o projeto de uma estrada teste no município de Mirassolândia, onde o dimensionamento seguiu os padrões da empresa, modificando apenas o agregado no revestimento primário.

A obra onde foram utilizados os RCD demonstrou o mesmo desempenho que as demais obras, como se pode ver na obra de Santa Adélia. Assim, conclui-se que além de ser uma alternativa viável para execução, é uma alternativa que reduz os custos de execução da obra, visto que os agregados custam menos.

REFERÊNCIAS

- ABNT (1984a). **NBR 7181: Solo – Análise granulométrica**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1984b). **NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (2004a). **NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (2004b). **NBR 10005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (2004c). **NBR 10006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (2004d). **NBR 15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- BRITO, J.A. Cidade versus entulho. In: SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., São Paulo, 1999. **Anais**. São Paulo, Comitê Técnico CT206 Meio Ambiente (IBRACON), 1999. p.56-67.
- CODASP (Companhia de Desenvolvimento Agrícola do Estado), 2010
- CODASP (Companhia de Desenvolvimento Agrícola do Estado), 2011
- CODASP (Companhia de Desenvolvimento Agrícola do Estado), 2013
- DNER (1994). **ME 049/94: Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNER (1997a). **PRO 120/97: Coleta de amostras de agregados**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNER (1997b). **ES 303/97: Pavimentação – base estabilizada granulometricamente**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNER (1998a). **ME 035/98: Agregados – Determinação da abrasão “Los Angeles”**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNER (1998b). **ME 081/98: Agregados – Determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo**.
- JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo, 2000. 102p. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.