

Estudo dos aspectos do reaproveitamento dos resíduos sólidos de construção civil reciclados pelo SLU nas camadas de pavimentação asfáltica como reforço de sub-base e base.

AMANDA KARLA RODRIGUES MEIRELES¹, MAYANA SILVA RODRIGUES², LUIZ SOARES CORREIA³

¹Acadêmica do curso de Engenharia Civil, UNIP, Brasília-DF, amandakarla42@gmail.com;

²Acadêmica do curso de Engenharia Civil, UNIP, Brasília-DF, mayanasrodrigues@gmail.com

³Me. em Engenharia Civil, Prof. Orientador, UNIP, Brasília-DF, luiz.correia@docente.unip.br;

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
15 a 17 de setembro de 2021

RESUMO: O campo da construção civil vem sendo apontado pelo seu crescimento constante. As concepções para construções sustentáveis restabeleceram-se cada vez mais debatidas, originando novas tecnologias e conceitos, como o reaproveitamento dos resíduos sólidos de construção civil (RCC), gerados pelas construções, demolições e reformas. Na engenharia rodoviária, existem muitas pesquisas e projetos da viabilidade técnica e econômica que buscam alternativas sustentáveis como o uso de agregados reciclados aplicados nas camadas de pavimentos. Visto que as grandes metrópoles são as principais produtoras de resíduos, justificam-se o desenvolvimento de pesquisas de reaproveitamento de RCC em pavimentação. O objetivo desse trabalho é apresentar um estudo da viabilidade econômica e trabalhabilidade técnica dos resíduos de construção civil reciclados pelo Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal, em uma obra de pavimentação asfáltica de um estacionamento da Polícia Militar do Distrito Federal, localizado no Setor Policial Sul, aplicado nas camadas de sub-base e base do pavimento. O estudo foi elaborado por meio da análise comparativa entre o material convencional e o material de agregado reciclado misto que foi utilizado como base para os cálculos. Conforme os resultados obtidos através da comparação econômica entre os dois materiais, conclui-se que a utilização do RCC se apresenta viável economicamente para aplicação em base e sub-base de pavimentação.

PALAVRAS-CHAVE: RCC, resíduos, pavimentação.

Study of aspects of the reuse of solid civil construction waste recycled by SLU in the asphalt paving layers as reinforcement of the sub-base and base.

ABSTRACT: The construction field has been noted for its steady growth. The conceptions for sustainable constructions have become more and more debated, originating new technologies and concepts, such as the reuse of the solid residues of civil construction (CCR), generated by constructions, demolitions, and renovations. In road engineering, there are many researches and projects of technical and economic feasibility that seek sustainable alternatives such as the use of recycled aggregates applied to sidewalk layers. Since large cities are the main producers of waste, the development of research on the reuse of CCR in paving is justified. The objective of this paper is to present a study of the economic feasibility and technical workability of civil construction waste recycled by the Urban Cleaning Service of the Federal District, from construction sites in the Federal District, in an asphalt paving job of a parking lot of the Military Police of the Federal District, located in the South Police Sector – Brasília/DF, applied in the layers of sub-base and base of the sidewalk. The study was prepared through a comparative analysis between the conventional material and the mixed recycled aggregate material that was used as the basis for the calculations. According to the results obtained through the economic comparison between the two materials, it is concluded that the use of CCR is economically feasible for application in base and sub-base paving.

INTRODUÇÃO

Os resíduos gerados pela construção civil vem sendo uma importante pauta nas questões ambientais e econômicas para o desenvolvimento do setor. A reciclagem desses resíduos está associada à redução dos impactos ambientais gerados pelo descarte inadequado. Os resíduos de construção civil e demolição, também chamados de RCC, tem considerável percentual de aproveitamento após seu beneficiamento, ou seja, após a reciclagem com a britagem desses materiais em granulometrias menores: brita, rachão, areia, entre outros, podem ser utilizados na pavimentação asfáltica de estradas, como sub-base e base (NBR 15.116).

Os pavimentos asfálticos são aqueles em que o revestimento é composto por uma mistura constituída basicamente de agregados e ligantes asfálticos. É formado por quatro camadas principais: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito (BERNUCCI, 2006).

No Brasil, o descarte inadequado de RCC e seus devidos problemas ambientais e urbanos gerou uma busca por políticas de redução de danos. Esses resíduos, quando mal gerenciados, modificam a paisagem urbana, dificultam os serviços de limpeza pública, causam problemas de saneamento, entre outros. Com a aprovação da resolução n. 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos RCC, criaram-se planos de gerenciamentos necessários para minimizar os impactos ambientais.

Para o reaproveitamento desses materiais em camadas de pavimentação, é necessário realizar uma triagem do material, britagem e ensaios laboratoriais, a fim de eliminar qualquer material que possa ser considerado impróprio para aplicação.

A construção civil é responsável por cerca da metade dos resíduos gerados na economia e por 75% de todo o resíduo sólido (CUNHA, 2014). Segundo o Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal (SLU), cerca de 6.000t/dia de RCC estão sendo recebidos na Unidade de Recebimento de Entulhos (URE).

Com base nessa contextualização, o tema deste estudo é a análise dos RCC como subleito, sub-base e base nas obras públicas de pavimentação asfáltica do Distrito Federal e a o impacto na redução dos orçamentos. Para a realização do estudo, será feita a substituição da brita graduada simples (BGS) e terra nas camadas de sub-base e base do pavimento por resíduos de classe A. Conforme a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), n. 307, de 5 julho de 2002, que determinou a regulamentação da gestão dos resíduos de construção civil, são exemplos de resíduos de classe A: fragmentos de cimento, rochas, areia e tijolos (BRASIL, 2002).

MATERIAL E MÉTODOS

O projeto explorado nesse estudo de caso consiste na recuperação de base, sub-base e execução de capa asfáltica do estacionamento da Polícia Militar do Distrito Federal, localizado no Setor Policial Sul – Brasília/DF. Para este trabalho foi dada ênfase para a execução das camadas de base e sub-base do pavimento, em que foram aplicados os agregados reciclados mistos, oriundos da reciclagem do Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal (SLU). A obra foi executada através da Divisão de Obras Diretas da NOVACAP e comporta todos os serviços de pavimentação asfáltica, como: projeto topográfico, limpeza, regularização do subleito, execução de base e sub-base, imprimação e capa asfáltica.

A área de estudo se estende ao estacionamento da Polícia Militar do Distrito Federal possuindo uma área a ser pavimentada equivalente a 1.600 m².

Inicialmente, o material foi levado á campo e espalhado de forma mecanizada. Com o material devidamente espalhado e nivelado por toda a área, foi realizado o ensaio de densidade in situ, normatizado pela NBR 7185-1986 – Solo – Determinação da massa específica aparente, “in situ”, com emprego do frasco de areia. Pesa-se o frasco com areia, em seguida posiciona-se a bandeja com o furo no solo. Com o auxílio de uma marreta e uma talhadeira, faz-se um furo no solo de aproximadamente

15 cm de profundidade e o mesmo diâmetro do frasco. Recolhe-se o solo da escavação do furo, pesa-se e assim determina-se o teor de umidade através do aparelho Speedy. Com o furo feito, posiciona-se o frasco de cabeça para baixo na bandeja e abre-se o registro para a passagem de areia. Assim, conhecendo a densidade da areia é possível obter o volume do furo e o cálculo da massa específica.



Figura 1 – Materiais para o ensaio de densidade in situ.



Figura 2 – Medição de profundidade do furo.

O material também foi submetido ao Ensaio Normal de Proctor ou Ensaio de Compactação, de acordo com a NBR 7182/1986 – Ensaio de Compactação e adotou-se como referência a norma DNIT 164/2013 – ME – Solos- Compactação utilizando amostras não trabalhadas – Método de Ensaio. Utilizou-se energia de compactação intermediária, com soquete de 4.536 g, 26 golpes em 5 camadas. A amostra utilizada tinha peso úmido de 6.000 g e peso seco 5.665 g.

Posteriormente foi realizado o ensaio de Índice de Suporte Califórnia ou CBR (California Bearing Ratio), conforme a NBR 9895-2016 – Solo – Índice de Suporte Califórnia (ISC) – Método de ensaio, para determinar a resistência mecânica na compactação. Primeiramente, verifica-se a pressão aplicada e a relativa curva de deformação. Demanda-se uma pressão de 70 kgf/cm² para penetrações de 2,54 mm ou 105 kgf/cm² para penetrações de 5,05 mm. Havendo necessidade, realiza-se a correção da curva em relação ao ponto inicial, ajustando as cargas para 70 e 150 kgf/cm², adotando o maior valor.

O CBR determina a relação entre a pressão aplicada para a penetração em um corpo-de-prova e a pressão aplicada para a penetração em uma brita padronizada.

Após a realização dos ensaios, iniciou-se o processo de imprimação com aproximadamente 2,40 toneladas de Asfalto Diluído de Pedróleo CM-30 e 0,8 toneladas de emulsão asfáltica betuminosa de cura rápida RR2C, adicionada a água. Em seguida, aplicou-se 168 toneladas de CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados obtidos nos ensaios, o material reciclado de RCD apresentou espessura de 15 cm, atendendo às normas de reforço de subleito. Para a camada de sub-base, o manual do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre) determina que o material apresente resultados de CBR $\geq 20\%$ e expansão $\leq 1\%$. Conforme essa determinação, o material pode ser utilizado como reforço de sub-base. O ISC apresentado foi de 32,30% e expansão de 0,02%. Os resultados do ensaio de compactação também atendem ao requerido de $\geq 100\%$, o RCD compactou 100,7% e obteve umidade ótima de 24%.

Para a camada de base, o manual exige que o material apresente CBR $\geq 80\%$ para $N \geq 5 \times 10^6$ e expansão $\leq 2\%$. O material não apresentou resultados dentro do requerido.

A análise de custos da execução de pavimentação asfáltica utilizando o RCD apresentou resultados significativos em relação a execução convencional, geralmente executada com brita graduada simples (BGS). A planilha cedida pelo Setor de Obras Diretas (SEOD) da NOVACAP mostra um comparativo dos custos.

Serviços e Materiais	Und.	Qtd.	Custo unitário
Base de solo brita (40/60) mistura em usina compactação de 100% do proctor modificado	m ³	1,00	R\$ 66,52
Execução e compactação de base e sub-base com brita graduada simples	m ³	1,00	R\$ 114,66
Execução e compactação de base e sub-base com Agregado de Resíduo Misto	m ³	1,00	R\$ 12,23

Tabela 1 – Preço de base de pavimento executada pelo Setor de Obras Diretas da NOVACAP. Fonte: NOVACAP (2021).

Após a realização do estudo e aplicação do método empírico para execução do pavimento, concluiu-se que o agregado reciclado oriundo da construção civil pode ser utilizado como reforço de subleito e sub-base. Por apresentar uma alta resistência a penetração, sugere-se estudos para utilização de base de pavimento, sendo utilizado em seu estado puro, sem vestígios de solo local. Desse modo, executou-se o pavimento com camada de RCD em sua sub-base.

A redução significativa de custos que a execução de pavimento proposta apresentou ressalta as vantagens econômicas e a viabilidade a utilização de agregados reciclados na área rodoviária, tendo em vista que atende requisitos para reforços de camadas consideráveis com segurança.

Fundamental mencionar a importância da reciclagem e reutilização dos materiais oriundos da construção civil para o meio ambiente, sua contribuição para a criação de planos de gerenciamento de resíduos nas construções, resultando no aumento de ideias sustentáveis em diversas áreas da engenharia civil e assim reduzindo impactos ambientais.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que nos deu saúde e sabedoria para seguirmos a cada dia. Sem Ele nada seria possível!

Além do grande esforço pessoal, nossas conquistas são fruto da confiança e colaboração de algumas pessoas:

Aos nossos pais, Gilberto e Maria, Ronaldo e Anair, pelo apoio, carinho, dedicação e principalmente por serem exemplos de honestidade e trabalho durante nossas vidas.

À NOVACAP, por ceder uma de suas obras, os dados e o suporte necessário para a realização deste estudo.

À engenheira civil, Juliane Fortes, pelo incentivo durante todo o trabalho, por disponibilizar todo o seu conhecimento, pela amizade e por acreditar em nosso potencial.

À toda equipe da SEOD na NOVACAP, pela excelente execução do estudo e pelo suporte.

E, finalmente, a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

Nossos sinceros agradecimentos.

REFERÊNCIAS

ADDIS, Bill. **Reúso de materiais e elementos de construção**. Oficina de Textos, São Paulo, 2010.

AGÊNCIA BRASÍLIA. **DF avança no tratamento de lixo**. 21 dez 2018. Disponível em: <<https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/2018/12/21/df-avanca-no-tratamento-delixo/>>. Acesso em 28 jun 2021.

DF começa a reciclar entulho para reaproveitamento em obras públicas e privadas. 14 mai 2019. Disponível em: <<https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/2019/05/14/df-comeca-a-reciclar-entulhopara-reaproveitamento-em-obras-publicas-e-privadas/>>. Acesso em 28 jun 2021.

DF adota gestão sustentável dos resíduos da construção. 14 mar 2021. Disponível em <<https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/2021/03/10/df-adota-gestao-sustentavel-dos-residuos-da-construcao/>>. Acesso em 18 jul 2021.

BERNARDES, A. **Quantificação e classificação dos resíduos da construção e demolição na cidade de Passo Fundo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia, Infraestrutura e Meio Ambiente) – Universidade de Passo Fundo, 2006.

BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti da; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros**. PETROBRAS; ABEDA. 2006.

BRASIL. 2014. **Decreto nº 25.326**, de 15 setembro 2014. Regulamenta o disposto nos §§ 4º e 6º do art. 160, da Lei nº 7.186, de 27 de dezembro de 2006, com alterações decorrentes da Lei nº 8.473, de 27 de setembro de 2013, referente à obrigatoriedade de coleta, transporte, tratamento e destinação dos resíduos sólidos e disposição final dos rejeitos provenientes dos Grandes Geradores. Salvador, 12 de set. 2014.

2002. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA n. 307**, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos de construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 jul. 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/conama>> Acesso em 29 jun 2021