

RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS EM BASE E SUB-BASE DE PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

Ana Carolline de Souza Fontes¹

Daiana Valt Nepomuceno²

Jaqueline da Silva Pereira Batista³

RESUMO

O presente artigo tem como objetivo o estudo da utilização de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de pavimentos em comparação com a utilização de agregados convencionais. Foram realizadas pesquisas bibliográficas sobre o uso de agregados reciclados de resíduos da construção civil, em pavimentação, como uma alternativa para reduzir a disposição inadequada destes materiais no meio ambiente, como também reduzir os custos de construções desse tipo de obra. As principais etapas do processo foram a caracterização do solo e do agregado reciclado, os ensaios de granulometria e de Índice de Suporte Califórnia (CBR) aplicados no solo e ressaltar a importância da mistura solo-agregado reciclado visando atender as exigências de qualidade e as especificações das normas técnicas vigentes. Para a análise de custo de utilização, foram elaboradas tabelas utilizando como base os custos referentes aos agregados naturais retirados da empresa Tervap Pitanga Mineração e Pavimentação Ltda localizada na Civit - Serra/ES e os custos referentes aos agregados reciclados foram retirados da empresa Natureza Viva Reciclagem localizada em Vila-Velha /ES. Diante dos dados apresentados, o estudo indica que o uso do agregado reciclado pode ser uma alternativa além de econômica e tecnicamente viável para utilização em camada de base e sub-base de pavimentação asfáltica, ela é também uma alternativa sustentável, pois com o uso dos agregados reciclados se evita a exploração de jazidas naturais e conseqüentemente dando um fim apropriado para esse material, pode-se evitar o uso de aterros e a degradação do meio ambiente.

Palavras-chaves: Agregados reciclados. RCC. Base e sub-base. Pavimentação.

¹ Graduando em Engenharia Civil pela Faculdade Capixaba da Serra – Multivix Serra-ES

² Graduação em Engenharia Civil pela UFES – Universidade Federal do Espírito Santo.

³ Graduando em Engenharia Civil pela Faculdade Capixaba da Serra – Multivix Serra-ES

1 INTRODUÇÃO

A Indústria da Construção Civil tem exercido um papel importante no desenvolvimento econômico e social do Brasil, se destacando na economia brasileira e sendo a responsável por uma boa parcela do PIB do país. No entanto ela também é responsável por inúmeros impactos ambientais, por ser uma das principais geradoras de resíduos de construção civil (RCC), proveniente de construções e demolições que na maioria das vezes são depositados irregularmente na malha urbana.

Apesar do desenvolvimento econômico que as atividades de construção civil trazem a uma região devido ao número de empregos gerados, da viabilização de moradias, geração de renda e infra-estrutura, faz-se necessário uma política abrangente para fiscalizar a quantidade de resíduos que são descartados diariamente de forma irregular, e sempre que possível o seu reaproveitamento, pois a má destinação desses resíduos afetam diretamente o meio ambiente, provocando a degradação de áreas de mananciais e de preservação, assoreamento de rios e córregos, entupimento de bueiros, degradação de áreas urbanas, entre outros efeitos indesejados como problemas de saúde pública que ocorrem com a proliferação de vetores de doenças (PINTO, 1999).

Paralelamente a isso, a reciclagem de entulhos está se tornando uma alternativa em vários setores da construção civil, já que o RCC após passar por um processo de reciclagem pode ser empregado nas mais diferentes aplicações como, por exemplo, na confecção de elementos pré-moldados, ou na e na execução de camadas de pavimentação. Segundo Carneiro (2001), o seu uso em camadas de pavimentos urbanos tem sido uma das maneiras mais difundidas para o seu fim dentro da construção civil.

Geralmente os agregados reciclados são classificados de acordo com a sua constituição predominante, em dois grupos: agregados mistos e agregados reciclados de concreto (ARC), sendo este último considerado mais nobre e homogêneo por apresentar em sua constituição mais de 90% de resíduos de concreto, argamassa e materiais pétreos. Na pavimentação, os ARC podem ser

usados tanto na massa asfáltica dos pavimentos flexíveis quanto no concreto dos pavimentos rígidos, contudo sua destinação mais usual é para construção de camadas de base e sub-base (GRUBBA, 2009).

Mesmo a utilização desses agregados trazendo inúmeros benefícios econômicos e ambientais, o seu uso ainda é pouco difundido no Brasil, o objetivo deste trabalho é avaliar a viabilidade técnica e econômica da utilização desses materiais, e relacionar suas principais características e propriedades em relação ao agregado natural, quando utilizados em base e sub-base de pavimentação asfáltica.

Este artigo foi desenvolvido com base em pesquisas bibliográficas, leitura de artigos, monografias e dissertações a cerca dos principais assuntos que envolvem o tema do trabalho, tais como reciclagem de agregados provenientes de resíduos de construção civil, aplicações dos agregados reciclados no concreto e a reutilização para camadas de base e sub-base de pavimentos asfálticos, além da análise dos ensaios de laboratório fornecidos pela empresa Brascontec com base nas normas do DNIT 139/2010-ES e 141/2010-ESD.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS

2.1.1 Classificação segundo a NBR 10.004

Conforme a classificação dos resíduos sólidos, segundo a NBR 10.004 – ABNT (2004a), é feita uma relação entre a composição do resíduo e listagens de resíduos e substâncias em que são conhecidos os impactos a saúde e ao meio ambiente. Essa norma enquadra os resíduos em dois grupos:

- a) Resíduos de Classe I: Perigosos;
- b) Resíduos de Classe II: Não Perigosos;

A classe II ainda é dividida em dois subgrupos:

Resíduos de Classe IIA: Não inertes; Resíduos de Classe IIB: Inertes.

2.1.2 Classificação Segundo o CONAMA

Segundo a resolução nº 307 do CONAMA (2002), os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) são gerados a partir de reformas, construção, reparos e demolições de obras de construção civil, chamados entulhos de obras, que tem em sua composição, tijolos, madeira, concreto, solos, fiação, entre outros materiais.

Ainda segundo esta mesma resolução os entulhos devem ser classificados de acordo com sua composição, sendo Classe A, B, C, D.

Classe A: São os resíduos com maior potencial de reutilização e reciclagem. São provenientes de reparos ou construção de elementos cerâmicos, como placas de pisos cerâmicos, argamassa e concreto. E ainda, entulhos vindos de demolição ou produção de peças pré-moldadas fabricadas in loco, ou seja, dentro do canteiro de obras.

Classe B: Esses resíduos podem ser reciclados, porém com destinações diferentes, como vidros, papelões, plásticos, madeiras e metais.

Classe C: São os resíduos sólidos, cuja recuperação ou reciclagem, ainda não apresentam tecnologias e aplicações viáveis.

Classe D: São resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde, oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Existem quatro classes as quais os resíduos sólidos se encaixam, e diante dos dados e informações de cada classe é possível identificar que a composição dos RCC (Resíduos de Construção Civil) que podem ser reciclados para posterior utilização em base e sub-base de pavimentação asfáltica estão contidas na Classe A, composta por componentes cerâmicos, argamassa e concreto exceto o solo.

2.2 Composição de RCC

A composição dos resíduos de construção varia muito de um lugar para outro, ela é dependente das características específicas de cada região, da cultura, como técnicas construtivas e matérias primas disponíveis. No Brasil, segundo Grubba (2009), a maior parte desses resíduos é composta por materiais inertes e recicláveis, como restos de argamassas, concretos, agregados pétreos e materiais cerâmicos.

A título de exemplificação o Gráfico 1 apresenta a constituição dos RCC na cidade de Salvador-BA. De acordo com Carneiro (2001), os resíduos de construção civil desta cidade apresentam em sua composição 94% de materiais com alto potencial de reciclagem.

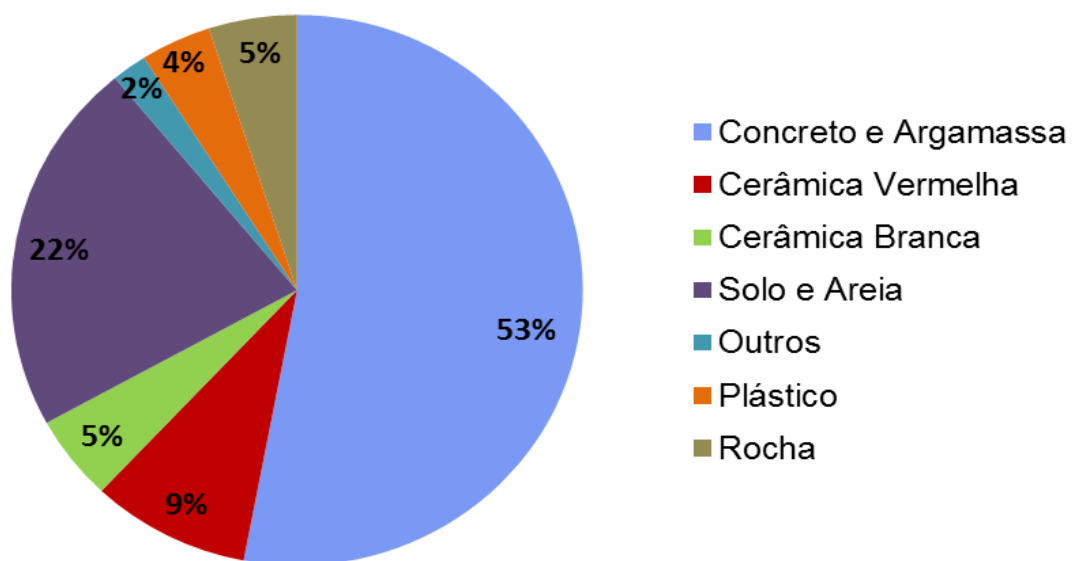


Gráfico 1: Representação dos RCC na cidade de Salvador-BA.
Fonte: Carneiro (2001)

2.3 RECICLAGEM DE RCC NO BRASIL

No Brasil, até o ano de 2002 não existiam políticas públicas para os resíduos gerados pelo setor da construção civil. Em 05 de Julho de 2002 entrou em vigor a Resolução nº 307 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA).

A Resolução CONAMA nº 307 (2002) especifica que resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados de resíduos sólidos da construção civil, chamados popularmente de entulho de obra, são os resíduos provenientes de construções, reformas, reparos ou demolições que contém tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, rocha, argamassas, telhas, pavimentos asfálticos, entre outros, que são classificados como classe “A”. Deve ser evitada a presença de solos, madeiras, vidros, plásticos, gessos, forros, tubulações, fiações elétricas e papéis ou quaisquer materiais orgânicos ou não inertes, classificados como classe “B”, “C” e “D” e denominados como “contaminantes” ou “indesejáveis”. No Brasil, a separação destes contaminantes é feita de forma manual, o que implica em uma remoção não completa, resultando em pequenas frações ainda presentes no agregado reciclado. Segundo Brasileiro (2013), esta resolução atribui responsabilidades tanto para o poder público quanto para a iniciativa privada. As empresas privadas de construção, que são grandes geradoras do resíduo Classe A, devem desenvolver projetos de gerenciamento específicos, e o poder público deve oferecer uma rede de coleta e destinação ambientalmente correta para os pequenos geradores, responsáveis por reformas e autoconstruções que são incapazes de implementar uma autogestão. Outro avanço com relação a reciclagem de resíduos de construção civil no Brasil é decorrente da publicação pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em 2004, de normas específicas relativas a sua gestão e seu emprego, a quais são citadas a seguir:

- NBR 15112 - Resíduos da Construção Civil e resíduos volumosos - Áreas de transbordo e triagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação.
- NBR 15113 - Resíduos Sólidos e resíduos inertes - Aterros- Diretrizes para projeto, implantação e operação.
- NBR 15114 - Resíduos Sólidos da Construção Civil - Áreas de Reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação.
- NBR15-115 - Agregados de Resíduos Sólidos da Construção Civil - Execução de camadas de pavimentação - Procedimentos.
- NBR 15-116 - Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos.

A primeira usina recicladora foi montada em São Paulo, em novembro de 1991. Essa localizava-se em uma área de 20.000m² em Itatinga no bairro de Santo Amaro, zona Sul do município, com capacidade para reciclar até 700m³ por dia .O material era produzido para a pavimentação de vias públicas.

Mesmo não tendo sido a primeira cidade brasileira a aderir Belo Horizonte é referência fundamental na gestão dos RDC. Atualmente, a prefeitura municipal deste município disponibiliza a população três estações de reciclagem de entulho. A primeira a do Estoril, começou a funcionar em novembro de 1995, a segunda, a de Pampulha, foi implantada em 1996 e a terceira, a da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos - CTRS iniciou suas operações em 2006. De acordo com Catapreta et al. (2008), essas unidades juntas têm capacidade nominal para reciclarem juntas aproximadamente 1000 toneladas de resíduos por dia.

2.4 PAVIMENTO FLEXÍVEL – CONSIDERAÇÕES GERAIS

2.4.1 Camadas Constituintes

Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas construída sobre superfície final de terraplenagem e destinada, técnica e economicamente, a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto economia e segurança.

(BERNUCCI, 2008).

Na pavimentação flexível, estão em geral as camadas de base, sub-base e de reforço do subleito, conforme mostra a Figura 1.

- Base: camada de pavimentação destinada a resistir aos esforços verticais oriundos dos veículos, distribuindo-os adequadamente à camada subjacente, executada sobre a sub-base, subleito ou reforço do subleito devidamente regularizado e compactado. Os materiais constituintes são solos, mistura de solos e materiais britados. (DNIT 141/2010-ES)

- Sub- base: camada de pavimentação, complementar à base e com as mesmas funções desta, executada sobre o subleito ou reforço do subleito, devidamente compactado e regularizado. Os materiais constituintes são solos, mistura de solos e materiais britados. (DNIT 139/2010-ES)
- Reforço do Sub-leito: operação destinada a conformar o leito estradal, transversal e longitudinalmente, obedecendo às larguras e cotas constantes das notas de serviço de regularização de terraplenagem do projeto, compreendendo cortes ou aterros até 20 cm de espessura. Os materiais constituintes são solos ou mistura de solos. (DNIT 137/2010-ES)

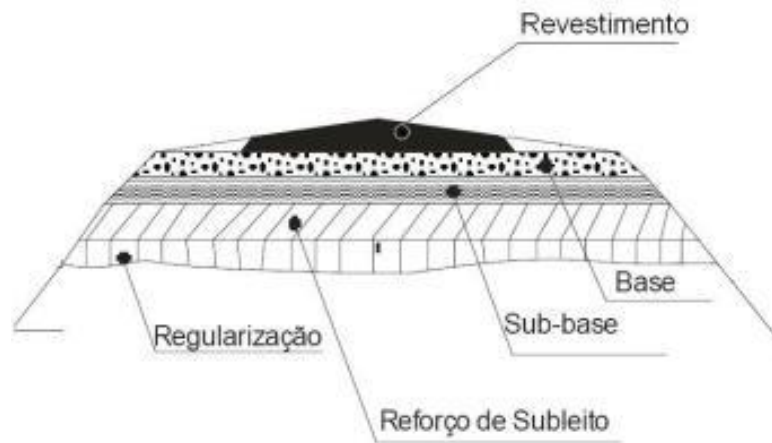


Figura 1: Camadas constituintes dos pavimentos
Fonte: (DNIT, 2006, p.106)

2.4.2 Emprego de agregados reciclados de RCC em pavimentação

O uso de agregados reciclados de construção civil em base e sub-base de pavimentação asfáltica apresenta inúmeras vantagens econômicas, sociais e ambientais, segundo Carneiro et al. (2001), essa tem sido uma das maneiras mais difundidas para o seu fim.

No Brasil, desde a década de 80, vem sendo realizado experiências de aplicação do resíduo sólido de construção civil como material de pavimentação, porém sem estudos sistemáticos e monitoramentos periódicos.

2.4.2.1 Experiência em SP

No município de São Paulo, os agregados de construção civil já eram utilizados em revestimentos primários de subleitos urbanos antes mesmo de existirem as usinas recicladoras. Entretanto a primeira obra com acompanhamento técnico ocorreu em 1984, na Rua Gervásio da Costa, região oeste da cidade de São Paulo, onde o agregado foi empregado no reforço do subleito e que segundo (BODI, et al 1995), apresentou um excelente desempenho.

No início da década de 90, foi instalada a primeira recicladora no país pela PMSP (Prefeitura do Município de São Paulo). No final de 2004, iniciou-se a pavimentação do sistema viário do novo campus da USP na zona Leste (USP-Leste), seguindo um projeto inovador de Pavimento Ecológico, com o emprego de materiais reciclados em toda sua estrutura. As camadas de base e a sub-base do Pavimento Ecológico da USP-Leste foram feitas com agregado reciclado de resíduo sólido de construção civil, e seu revestimento foi executado com asfalto modificado com borracha moída de pneu, o chamado asfalto-borracha.

Ainda em São Paulo, na cidade de São Carlos, desde 2005 uma usina de triagem e reciclagem de RDC, que teve como objetivo principal acabar com os depósitos irregulares de resíduos em córregos e áreas verdes e fornecer o agregado utilizado na sub-base e pisos intertravados para a pavimentação.

2.4.2.2 Experiência em Goiânia

Foi construída em Goiânia, na Rua dos Ciprestes no final de 2003, uma pista experimental empregando uma mistura de agregados reciclados de resíduos de construção civil com um solo argiloso em suas camadas de base e sub-base. A construção foi realizada através de uma parceria da Prefeitura Municipal de Goiânia, Universidade de Brasília, Universidade Federal de Goiás, e empresas da região, como parte integrante do programa municipal de gerenciamento de resíduos sólidos da construção civil (OLIVEIRA, 2007).

A mistura foi proporcionada combinando três frações granulométricas com um solo argiloso retirado do próprio local.

De acordo com Mendes et al. (2004) a pista experimental tem um comprimento de 100m e a parte construída de RCC tem 50m.

A Tabela 1 mostra algumas características do trecho experimental de Goiânia.

Tabela 1: Característica da Pista Experimental de Goiânia

| CAMADA | ENERGIA DE COMPACTAÇÃO | ESPESSURA | COMPOSIÇÃO |
|---------------|-------------------------------|------------------|---|
| Revestimento | - | 5 | CBUQ 25% de Brita 19 mm, 25% de brita 9,5mm, 25% de areia e 25% de argila. |
| Base | Intermediária | 15 | 33% de Brita 19 mm, 33% de brita 9,5mm, 17% de areia e 17% de argila. |
| Sub-Base | Intermediária | 15 | de argila. |

Fonte: Adaptado de Mendes et. al (2004)

Em novembro de 2004, a pista foi liberada para tráfego e o monitoramento de campo foi iniciado, Oliveira (2007) relata que depois de decorridos dois anos e nove meses de ação do tráfego, a pista experimental não apresentou defeitos superficiais, nem deformações que comprometessem a estrutura e a funcionalidade.

2.5 AGREGADOS RECICLADOS DE CONCRETO (ARC)

Entre os vários tipos de resíduos gerados pela indústria da construção civil estão os resíduos de concreto. Estes resíduos segundo Gonçalves (2001) possuem maior potencial de reutilização devido principalmente ao conhecimento de suas características básicas (fck, idade, etc...) e os principais geradores de resíduos de concreto são as fábricas de pré-moldados, as demolições de construções e de pavimentos rodoviários de concreto e as usinas de concreto pré-misturado.

Os agregados reciclados de concreto ARC possuem algumas características diferentes a dos agregados naturais que estão principalmente relacionadas com a quantidade de argamassa aderida na superfície do concreto. Contudo eles são os mais utilizados em pavimentação.

2.5.1 Propriedades físicas dos agregados reciclados de concreto.

Segundo Grubba (2009), para utilização dos agregados RCC na pavimentação alguns ensaios de caracterização são importantes, e as principais características físicas desses agregados são absorção, densidade, e abrasão Los Angeles.

- **Absorção:** está relacionado com a quantidade de água que é absorvida pelo agregado. O agregado reciclado de concreto apresenta maior absorção que os agregados naturais, de acordo com Saeed et al (2007), varia de 2% a 6% para agregados reciclados graúdos e de 4% a 8% para miúdos.
- **Massa Específica:** é a densidade do agregado sem nenhum vazio, ou seja, não inclui poros permeáveis e não possui espaço entre os grãos. A massa específica dos agregados reciclados é em geral inferior a dos agregados naturais. Segundo Hansen (1992) a massa específica dos agregados reciclados de concreto é de 5% a 10% mais baixa que os agregados que os originaram devido á significativa presença de argamassa.
- **Abrasão Los Angeles:** É o desgaste sofrido pelo agregado quando colocado na máquina "Los Angeles ", juntamente com uma carga abrasiva, submetido a um determinado número de revoluções desta máquina á velocidade de 30 a 33rpm. Geralmente a abrasão Los Angeles dos ARC é maior que a dos reciclados naturais, porém bem inferior aos valores observados em agregados mistos (GRUBBA, 2009). De acordo com FHWA (1997), os valores típicos deste parâmetro variam entre 20% a 45%.

O Quadro 1 mostra um resumo do comparativo das principais propriedades físicas de um agregado natural e um agregado reciclado da construção civil.

| Propriedades Físicas | Agregado Natural | Agregado Reciclado |
|-----------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Absorção | Menor | Maior |
| Densidade | Maior | Menor |
| Abrasão Los Angeles | Menor | Maior |

Quadro 1: Comparação de propriedades físicas entre agregados reciclados e agregados naturais.
Fonte: Adaptado de Grubba, 2009.

2.5.2 Índice de Suporte Califórnia (CBR)

O índice de suporte Califórnia (ISC), em inglês California Bearing Ratio (CBR) consiste na determinação do valor da capacidade de suporte de solos e materiais granulares empregados em pavimentação. O ensaio pode ser realizado de duas formas: Moldando-se um corpo de prova com teor de umidade próximo ao ótimo (determinado previamente em ensaio de compactação); Moldando-se corpos de prova para o ensaio de compactação (em teores de umidade crescentes), com posterior ensaio de penetração desses mesmos corpos de prova, obtendo-se simultaneamente os parâmetros de compactação e os valores de CBR.

A NBR 15115 – ABNT (2004) utiliza o valor do CBR como parâmetro para emprego do agregado reciclado em pavimentação. São fixados valores mínimos de acordo com a função estrutural do material no pavimento: base, sub-base ou reforço de subleito.

| Norma | Parâmetro | Base | Sub-base | Reforço do subleito |
|---------------------------|------------------|-------------|-----------------|----------------------------|
| NBR 15115 (ABNT, 2004) | ISC [%] | ≥ 80 (c) | ≥ 20 | ≥ 12 |
| | Expansão [%] | ≤ 0,5 | ≤ 1,0 | ≤ 1,0 |

Quadro 2: Valores mínimos de ISC e máximos de expansão recomendados para emprego de agregado reciclado em camadas de pavimentos

Fonte: Norma NBR 15115, ABNT 2004.

Petrarca e Galdiero (1984) realizaram uma avaliação contínua ao longo de seis anos sobre a utilização do ARC produzido de uma única usina de reciclagem em bases de pavimentos no Estado de Nova York (EUA). Segundo esses pesquisadores, após uma quantidade expressiva de testes, o ARC se mostrou consistente ao longo do tempo e cumpriu todos os requisitos necessários para um excelente desempenho, bem acima das especificações mínimas para o emprego de materiais para bases granulares densas. Esse material exibiu alta capacidade de suporte, a média dos 157 testes de CBR foi de 148%.

Segundo FHWA (1997), o Índice de Suporte Califórnia típico dos agregados reciclados de concreto varia entre 94% a 148%.

3 RESULTADOS

3.1 ANÁLISE DE VIABILIDADE

Para fazer uma análise sobre a viabilidade do uso de agregados de RCC nas camadas de base e sub-base de rodovias a fim de verificar se os materiais apresentaram as características desejáveis, de forma a se obter um produto final com propriedades adequadas de estabilidade e durabilidade, escolheu-se os agregados produzidos pela empresa Natureza Viva Reciclagem que fica localizada em Vila-Velha/ES. Essa empresa recicla os agregados e vendem para empresas de pavimentação que desejam utilizar esse material em suas obras. Para a análise de algumas características físicas do material vendido assim como o seu comportamento quando misturado são realizadas ensaios laboratoriais por outra empresa contratada pela Natureza Viva chamada Brascontec localizada no Bairro de Fátima-Serra/ES.

Os dados dos ensaios foram fornecidos pela Natureza Viva para a posterior análise.

3.1.1 Análise dos ensaios realizados para camada da base

Para a camada de base foram realizados ensaios de uma mistura com 50% de brita 1 e 50% de solo brita com agregados reciclados, devido a esta ser uma das composições mais utilizadas no estado por vir apresentando resultados satisfatórios em base de pavimentos.

A mistura possui composição granulométrica satisfazendo a faixa B de acordo com a NORMA do DNIT 141/2010-ES, com o número N de tráfego de 5×10^6 calculado segundo a metodologia do USACE.

3.1.1.1 Ensaio de CBR (ISC)

A empresa realizou o ensaio de CBR para a mistura a ser utilizada camada de base e obteve o Gráfico 2. Para a análise desse gráfico, foram consultadas as determinações descritas pelo ensaio de Índice de Suporte Califórnia - DNER-ME 049/94 citadas na norma do DNIT 141/2010-ES.

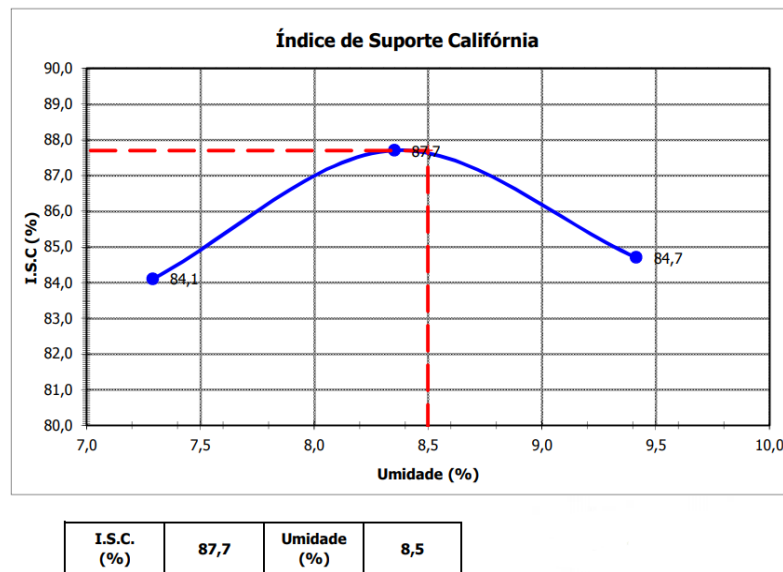


Gráfico 2: Índice de Suporte Califórnia (CBR) para mistura utilizada na camada de base

Fonte: Brascontec, 2015

Analisando o gráfico acima pode-se perceber que o Índice de Suporte Califórnia (ISC) ficou em 87,7%, atendendo a exigência da norma DNIT 141/2010-ES que diz que para a camada de base o ISC deve ser $\geq 80\%$ para Número de tráfego $N > 5 \times 10^6$ em base de pavimentação.

Também foi possível verificar que a umidade ótima ficou em 8,5%, que é um valor considerado baixo, o que seria outro fator favorável, já que para misturas utilizadas na camada de base quanto menor a umidade ótima melhor.

Outro ponto favorável que a empresa forneceu foi o ensaio de limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (LP) para essa mistura que apresentou resultados de zero para os dois limites, mostrando que é uma mistura excelente para utilizar em camada de base, segundo a norma DNER 122/94 que determina que LL deve ser

menor ou igual a 25%, e a norma DNER-ME 082/94, que determina que o LP deve ser menor ou igual a 6%.

3.1.1.2 Expansão do solo

A expansão do solo, diferente dos índices de CBR não afeta diretamente no dimensionamento de pisos e pavimentos, porém a sua avaliação é de extrema importância, pois um solo potencialmente expansivo poderá provocar manifestações patológicas irreparáveis.

A empresa realizou o ensaio de expansão para a mistura a ser utilizada camada de base e obteve o Gráfico 3. Para a análise do gráfico abaixo, foi observado as determinações citadas na norma do DNIT 141/2010-ES.

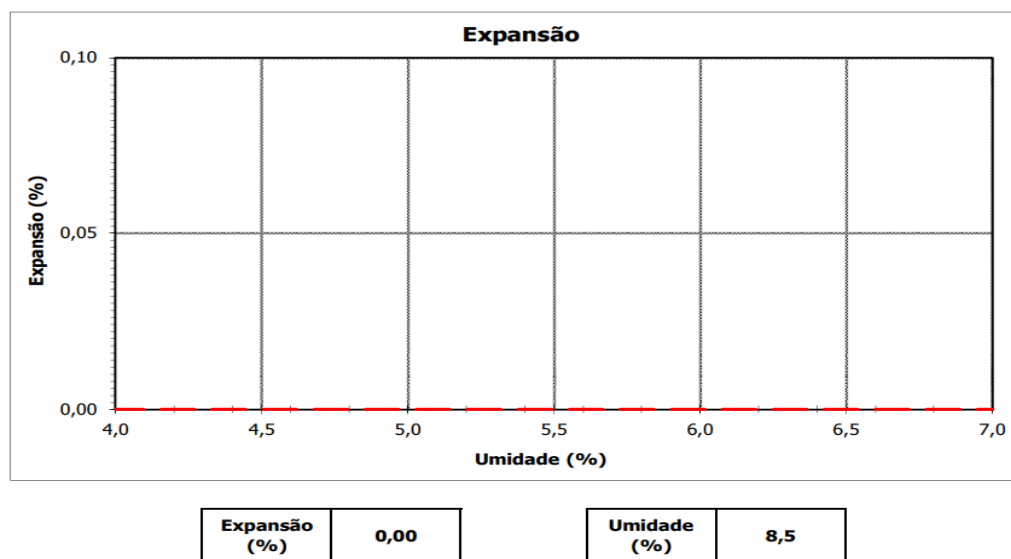


Gráfico 3: Expansão da mistura utilizada na camada de base

Fonte: Brascontec, 2015

Analisando o gráfico anterior pode-se verificar que o valor da expansão dessa mistura para a base foi de 0%. Segundo a norma do DNIT 141/2010-ES para a função estrutural da base de um pavimento a expansão do solo deve ser $\leq 0,5\%$, o que mostrou que essa mistura com o agregado reciclado poderá tranquilamente ser utilizada na camada de base sem se preocupar com manifestações patológicas causadas por expansões do solo.

3.1.2 Análise dos ensaios realizados para camada de sub-base

Para a camada de sub-base foi escolhida uma amostra composta 100% de solo brita, devido a ela ser uma das composições mais utilizadas no estado por vir apresentando resultados satisfatórios em sub-base de pavimentos.

A mistura possui composição granulométrica satisfazendo a faixa C de acordo NORMA do DNIT 141/2010-ES, com um número N de tráfego de 5×10^6 calculado segundo a metodologia do USACE.

3.1.2.1 Ensaio de CBR (ISC)

A empresa realizou o ensaio de CBR para a mistura a ser utilizada camada de base e obteve o Gráfico 4. Para a análise desse gráfico, foram consultadas as determinações descritas pelo ensaio de Índice de Suporte Califórnia - DNER-ME 049/94 citadas na norma do DNIT 139/2010-ES.

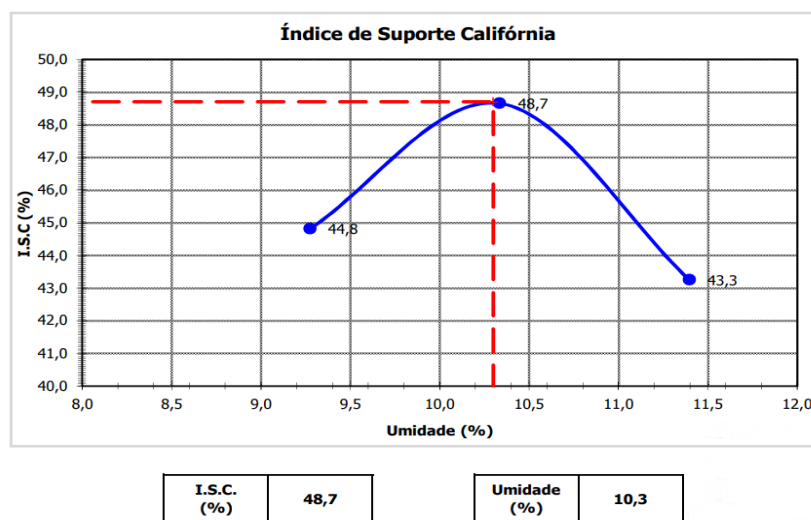


Gráfico 4: Índice de Suporte Califórnia (CBR) para mistura utilizada na camada de sub-base

Fonte: Brascontec, 2015

Analisando o gráfico acima pode-se perceber que o Índice de Suporte Califórnia (ISC) ficou em 47,8%, atendendo a exigência da norma DNIT 139/2010-ES que diz que para a camada de sub-base o ISC deve ser $\geq 20\%$ para Número de tráfego N

>5x10⁶ em sub-base de pavimentação, além de ter obtido um valor de umidade ótima consideravelmente baixa de 10,3 % o que é bom para o uso em camada de sub-base.

3.1.2.2 Expansão do solo

A empresa realizou o ensaio de expansão para a mistura a ser utilizada camada de base e obteve o Gráfico 5. Para a análise do gráfico abaixo, foi observado as determinações citadas na norma do DNIT 139/2010-ES.

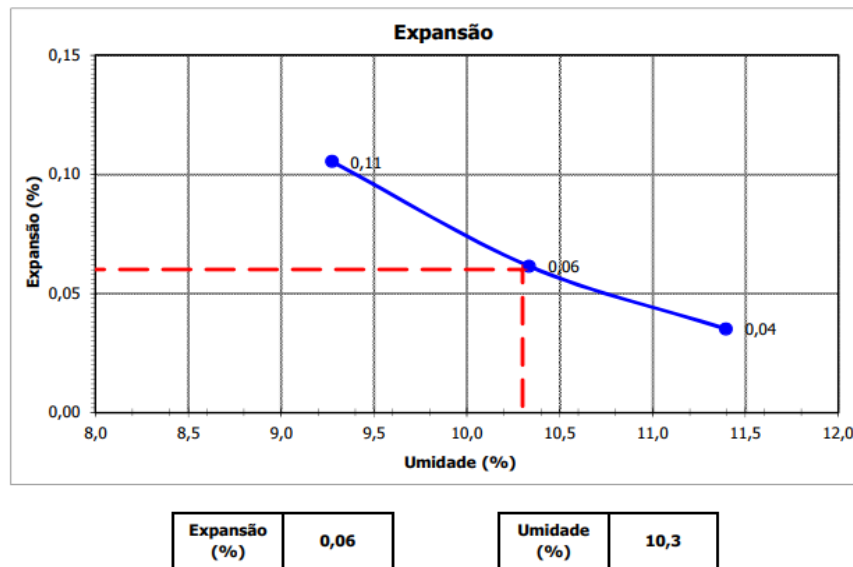


Gráfico 5: Expansão da mistura utilizada na camada de sub-base

Fonte: Brascontec, 2015

Analisando o gráfico anterior pode-se verificar que o valor da expansão dessa mistura para a sub-base foi de 0,06 %. Segundo a norma do DNIT 139/2010-ES para a função estrutural da sub-base de um pavimento a expansão do solo deve ser $\leq 1\%$, o que mostrou que essa mistura com o agregado reciclado poderá tranquilamente ser utilizada na camada de sub-base.

3.2 ANÁLISE DE CUSTOS

Foi realizada uma análise de custo, tomando como base a obra de um estacionamento de um supermercado que foi executada no bairro Jardim Limoeiro

na Serra-ES, onde foram utilizados agregados reciclados de concreto na base e sub-base da pavimentação asfáltica.

Ressalta-se que os custos referentes aos agregados naturais foram retirados da empresa Tervap Pitanga Mineração e Pavimentação Ltda localizada na Civit - Serra/ES e os custos referentes aos ARC foram retirados da empresa Natureza Viva Reciclagem localizada em Vila-Velha /ES.

Considerando-se que a área pavimentada foi de 10.000m² e que a espessura da base e sub-base foi de 10 cm respeitando as normas do DNIT 139/2010-ES e 141/2010-ES que diz que em base e sub-base a espessura da camada compactada não deve ser inferior a 10 cm nem superior a 20 cm, elaborou-se as Tabelas 2 e 3 para fazer um comparativo de custos entre o agregado natural e o reciclado.

A Tabela 2 mostra qual seria o preço que a empresa gastaria para construir o pavimento se utilizassem somente agregado de origem natural nas camadas de base e sub-base.

Tabela 2: Custo das Estruturas do Pavimento com agregados naturais

| Camada | Material | Espessura (cm) | Custo (m³) | Área (m²) | Área (m³) | Valor Total |
|---------------|-----------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|
| Base | Brita 1 | 10 | 55,00 R\$/m ³ | 10.000 | 1.000 | R\$55.000,00 |
| Sub-base | Pó de Pedra | 10 | 30,00 R\$/m ³ | 10.000 | 1.000 | R\$30.000,00 |

Fonte: Adaptado de Silva, 2015.

Analisando a tabela acima pode-se perceber que a empresa iria gastar R\$ 85.000,00 reais para construir a base a sub-base do pavimento utilizando agregado natural como Brita 1 e pó de pedra.

A Tabela 3 mostra qual seria o preço que a empresa gastaria para construir o pavimento se utilizassem somente agregado de origem reciclada nas camadas de base e sub-base.

Tabela 3: Custo das Estruturas do Pavimento com ARC

| Camada | Material | Espessura (cm) | Custo (m³) | Área (m²) | Área (m³) | Valor Total |
|---------------|-----------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|
| Base | Brita 1 | 10 | 20,00 R\$/m ³ | 10.000 | 1.000 | R\$20.000,00 |
| Sub-base | Pó de Pedra | 10 | 20,00 R\$/m ³ | 10.000 | 1.000 | R\$20.000,00 |

Fonte: Adaptado de Silva, 2015.

Analisando a tabela acima pode-se perceber que a empresa iria gastar R\$ 40.000,00 reais para construir a base a sub-base do pavimento utilizando agregado reciclado como Brita 1 e pó de pedra

A seguir elaborou-se a Tabela 4, onde foi incluído o preço que a empresa gastaria com o transporte para a retirada do material da empresa de reciclagem ou da pedreira até o local da obra.

O custo do transporte dos agregados convencionais é de R\$ 19,00/m³ para brita corrida e R\$15,00/m³ para solo brita, multiplicando-se esses valores por 1.000m³, da para obter o valor total gasto com transporte. Já para encontrar o gasto com transporte dos agregados reciclados foi utilizado o fator R\$0,45X km x m³, e sabendo que do local da obra até o local de retirada dos agregados são de aproximadamente 30 km, multiplicando esses valores (0,45x 30 x 1000) para brita e solo brita encontramos o valor total.

Tabela 4: Comparativo entre Agregados convencionais e ARC.

| Material | Brita Corrida | Pó de Pedra | Transporte | Total |
|-----------------|----------------------|--------------------|-------------------|---------------|
| Convencional | R\$ 55.000,00 | R\$ 30.000,00 | R\$ 34.000,00 | R\$119.000,00 |
| RDC | R\$ 20.000,00 | R\$ 20.000,00 | R\$ 27.000,00 | R\$ 67.000,00 |
| Diferença | R\$ 35.000,00 | R\$ 10.000,00 | R\$ 7.000,00 | R\$ 52.000,00 |
| Redução de: | 63,63% | 33,33% | 20,58% | 43,70% |

Fonte: Adaptado de Silva, 2015.

Analisando a tabela acima nota-se que optando por utilizar os agregados reciclados de concreto, a empresa conseguiu enxugar em seu orçamento R\$52.000,00, pois esses agregados são cerca de 43,70% mais baratos que os agregados convencionais.

4 CONCLUSÃO

Os resultados desta pesquisa indicam que a utilização dos agregados reciclados de concreto na construção de base e sub-base de pavimentos podem ser uma ótima alternativa em substituição aos agregados naturais, tendo em vista que eles apresentaram resultados satisfatórios quanto às características e propriedades que são exigidas, segundo as normas, para conferir a um pavimento estabilidade e durabilidade.

A utilização deste tipo de agregado é tecnicamente viável, não só devido às propriedades que eles apresentaram, como também do ponto de vista econômico, ambiental e social, uma vez que sua utilização reduz consideravelmente o preço deste tipo de obra, e proporciona ao meio ambiente inúmeros benefícios, em razão da redução da exploração do agregado natural de jazidas minerais, e destinação apropriada dos mesmos, que na maioria das vezes são descartados em aterros e depósitos, poluindo o meio ambiente.

Sendo o Brasil, um país onde boa parte do sistema viário ainda não é pavimentado, e diante de todos os benefícios que o uso dos agregados reciclados de concreto apresentaram, a sua utilização ainda precisa ser incentivada, haja visto que, mesmo com inúmeras possibilidades de aplicação e com alguns avanços normativos, o seu uso ainda não é muito difundido.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15.112/04** – Resíduos de construção e resíduos volumosos; Áreas de transbordo e triagem; Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.
- _____. **NBR 15.113/04** – Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes. Aterros; Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.
- _____. **NBR 15.114/04** – Resíduos sólidos da construção civil. Áreas de reciclagem. Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.
- _____. **NBR 15.115/04** – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil. Execução de camadas de pavimentação. Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.
- _____. **NBR 15.116/04** – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural. Rio de Janeiro, 2004.
- BERNUCCI, Liedi B. et al. **Pavimentação asfáltica**: Formação básica para engenheiros. 504 f. PETROBRAS: ABEDA, Rio de Janeiro, 2006.
- BRASILEIRO, Luzana L. **Utilização de Agregados Reciclados Provenientes de RCD em Substituição ao Agregado Natural no Concreto Asfáltico**. 118p. Dissertação – Universidade Federal do Piauí. Teresina - PI, 2013.
- BODI, J.; BRITO FILHO, J. A.; ALMEIDA, S. **Utilização de entulho de construção civil reciclado na pavimentação urbana**. In: 29ª Reunião Anual de Pavimentação. Rio de Janeiro, 1995.
- CARNEIRO, Alex P. et al. **Reciclagem de Entulho para a produção de materiais de construção**: Projeto Entulho Bom. Salvador: Editora UFBA, 142-186, 2001.
- CATAPRETA, C. A. A., PEREIRA J. C., ALMEIDA A. H. **Avaliação do desempenho das Usinas de Reciclagem de Resíduos de Construção Civil de Belo Horizonte, Brasil**. XXXI Congresso Interamericano AIDIS. Santiago, 2008.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Destinação final de Resíduos da Construção Civil**. Resolução nº307, de 05 de julho de 2002.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **DNIT 139/2010** – Pavimentação: Sub-base estabilizada granulometricamente - Especificação de Serviço. Espírito Santo, 2010.
- _____. **DNIT 137/2010** – Pavimentação: Regularização do subleito - Especificação de Serviço. Espírito Santo, 2010.
- _____. **DNIT 141/2010** – Pavimentação: Base estabilizada granulometricamente - Especificação de Serviço. Espírito Santo, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM – DNER-ME. **NORMA 133/94** - Misturas betuminosas: determinação do módulo de resiliência. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **DNER-ME 049/94** – Solos: Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **DNER-ME 82/94** – Solos: Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 1994;

_____. **DNER-ME 122/94** – Solos: Determinação do Limite de Liquidez; Método de referência e Método expedito. Rio de Janeiro, 1994.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION – FHWA. **User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction**. Publication Number: FHWA-RD-97-148. United States, 1997.

GRUBBA, David C. R. P. **Estudo do comportamento mecânico de um agregado reciclado de concreto para utilização na construção rodoviária**. 163p. Dissertação – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

GONÇALVES, Rodrigo D.C. **Agregados Reciclados de Resíduos de Concreto - Um novo material para dosagens estruturais**. 148p. Dissertação – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

HANSEN, Torben C. **Recycled of demolished concrete and masonry**. 316p. London: Chapman & Hall, 1992.

MENDES, T. A.; REZENDE, L. R.; OLIVEIRA, J. C.; GUIMARÃES, R. C.; CARVALHO, J. C.; VEIGAS, R. **Parâmetros de uma pista experimental executada com entulho reciclado**. In: 35ª Reunião Anual de Pavimentação, Rio de Janeiro, 2004.

OLIVEIRA, José C. **Indicadores de Potencialidades e desempenho de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil em pavimentos flexíveis**. 167p. Tese (doutorado) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

PETRARCA, Richard W; GALDIERO, Vincent A. **Summary of testing of recycled crushed concrete**. Transportation Research Record, 973p. 1984.

PINTO, Tarcísio de P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. São Paulo, 1999.