



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR
www.rapvenacor.com.br



25º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 48ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO DE PATOS DE MINAS PARA A UTILIZAÇÃO NA PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA

DOI: (a ser preenchido após o envio do código DOI da publicação)

Vinícius Vieira Sousa¹; Cleiton Alves de Castro²; Érica Francisca de Paula Araújo¹, Mauro Alexandre Gomes & Matheus Guimarães Novais¹

RESUMO

Os resíduos de construção e demolição sempre foram um grande problema para a construção civil, uma vez que os mesmos são encontrados em grandes volumes no nosso meio, sem uma destinação que dê a esses resíduos uma finalidade efetiva. Patos de Minas, assim como outras cidades que estão em processo de crescimento territorial e demográfico, também vem sofrendo com a grande quantidade de resíduos de construção e demolição gerados, sem que haja procedimentos que possam satisfazer o consumo desse material. Essa pesquisa objetivou-se de forma principal, o estudo dos resíduos de construção e demolição gerados na cidade de Patos de Minas, para uma possível aplicação nas camadas de pavimentação. Para isso, foram executados ensaios físicos e mecânicos neste material, o qual era composto por resíduos cerâmicos, de concreto e de rocha. Foram moldados três corpos de prova com diferentes percentuais granulométricos desses agregados reciclados, sendo os mesmos com 80% de agregado graúdo e 20% de agregado miúdo, 50% de agregado graúdo e 50% de agregado miúdo, e 80% de agregado miúdo e 20% de agregado graúdo. Nesses ensaios foram encontrados valores de CBR que vão de 38% até 53% e expansão que varia de 0% até 0,8%, ou seja, esses resultados satisfazem seu uso em camadas que vão do reforço do subleito, até a sub-base. Foi verificado que o uso dos resíduos oriundos da construção e demolição não são somente uma solução no que se refere a sustentabilidade, mas sim um material com alto potencial de uso, para as camadas de pavimentação, se usados de forma adequada.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos de construção e demolição; agregados; reciclagem; pavimentação.

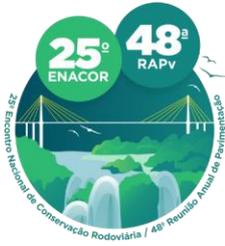
ABSTRACT

Construction and demolition waste has always been a major problem for civil construction, as it is found in large volumes in our midst, without a destination that gives these wastes an effective purpose. Patos de Minas, as well as other cities that are in the process of territorial and demographic growth, has also been suffering from the large amount of construction and demolition waste generated, without there being procedures that can satisfy the consumption of this material. This research is mainly aimed at the study of construction and demolition waste generated in the city of Patos de Minas, for a possible application in paving layers. For this, physical and mechanical tests were performed on this material, which was composed of ceramic, concrete and rock waste. Three specimens were molded with different granulometric percentages of these recycled aggregates, with 80% of coarse aggregate and 20% of fine aggregate, 50% of coarse aggregate and 50% of fine aggregate, and 80% of fine aggregate and 20% coarse aggregate. In these tests, CBR values ranging from 38% to 53% and expansion ranging from 0% to 0.8% were found, that is, these results satisfy its use in layers ranging from the reinforcement of the subgrade to the subbase. It was found that the use of waste from construction and demolition is not only a solution in terms of sustainability, but a material with high potential for use in paving layers, if used correctly.

KEY WORDS: Construction and demolition waste; aggregates; recycling; paving.

¹ Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais – DER-MG, vinicius.sousa@der.mg.gov.br; erica.araujo@der.mg.gov.br; mauro.gomes@der.mg.gov.br; matheus.novais@der.mg.gov.br

² Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM, cleitonac@unipam.edu.br



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



INTRODUÇÃO

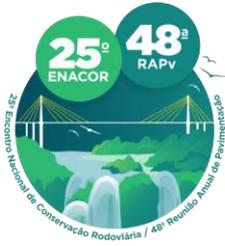
Com o ininterrupto mercado da construção civil no Brasil, surgem também alarmantes problemas que exigem o olhar crítico da sociedade, como é o caso da geração de Resíduos de Construção e Demolição (RCD). A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2022) define os RCD como sendo os resíduos gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluindo os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis. Esses resíduos poderiam e deveriam ser dispostos em locais adequados. Contudo, por diversas vezes, tais resíduos são lançados em terrenos impróprios, não tendo a destinação adequada.

De acordo com a ABRELPE (2022), são geradas mais de 132.000 toneladas por dia de RCD nos municípios brasileiros. Esse dado se torna alarmante a partir do momento em que tanto material é gerado e coletado, e não há nenhuma forma efetiva e consistente de reaproveitamento do mesmo. No ano de 2002, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), aprovou a resolução de nº 307 que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. De acordo com esta resolução do CONAMA, os próprios geradores devem ser os responsáveis pelos resíduos das atividades relacionadas à construção civil de uma forma geral. Assim, o reaproveitamento dos resíduos oriundos da construção civil deverá trazer benefícios nas ordens sociais, ambientais e econômicas a população. Considerando os impactos que os RCD podem proferir ao meio em que estamos inseridos, no ano de 2004, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) elaborou e aprovou duas normas que tratam sobre tal tema. A NBR 15115/2004 (Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos) e a NBR 15116/2004 (Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos) foram concebidas com o intuito de promover, de forma técnica, o que já vinha sendo discutido como uma necessidade através da resolução do CONAMA.

Segundo Leite (2007), o RCD é um material nobre, pois se apresenta bastante consistente e com baixo índice de expansão, isso evidencia o seu grande potencial de reciclagem como agregado para pavimentação. Outro fator que se alia ao ideal de reciclagem desses resíduos é o fato de a matéria prima principal para a execução das camadas de pavimentação rodoviária estar cada vez mais escassa no meio.

No município de Patos de Minas, Minas Gerais, o cenário de crescimento e expansão populacional e territorial tem acompanhado de forma proporcional ao país de uma forma geral, com isso, é notório que a geração dos RCD tenha aumentado, e venham aumentando cada dia mais, porém, da mesma forma a disposição desses resíduos muitas vezes são feitas de maneiras irregulares, sendo necessário um estudo para que essas atitudes diminuam o impacto que isso pode gerar no município.

Sendo assim, teve como principal objetivo através deste o estudo dos resíduos de construção e demolição inseridos nas camadas de pavimentação, verificando e avaliando suas propriedades e características no contexto e na realidade da cidade de Patos de Minas. Buscou-se também, de forma específica: a coleta dos resíduos, o beneficiamento desse material, estudos feitos com análises de laboratório, obedecendo às normatizações técnicas para que seja concluído, ou não, a utilização do RCD em camadas de pavimentação rodoviária.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



REFERENCIAL TEÓRICO

Resíduos de Construção e Demolição

De acordo com a resolução 307, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002, p.1), aprovada em 5 de julho de 2002, os resíduos de construção civil

[...] são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, calça ou metralha (CONAMA, 2002, p.1).

A ABNT NBR 10004 (Resíduos Sólidos – Classificação) classifica os RCD como resíduos não perigosos, e os mesmos estão inseridos na Classe II B – Inertes –, os quais são definidos como quaisquer resíduos que, quando amostrados de forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007/2004, e submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006/2004, não tiveram nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez, dureza, e sabor.

A resolução 307/2002 do CONAMA também classifica os resíduos provenientes da construção civil em quatro classes, sendo elas: classe A, B, C e D. A classe A aborda os resíduos que podem ser reutilizáveis ou recicláveis como agregados. Na classe B estão os resíduos recicláveis para outras destinações, como plásticos e afins. A classe C engloba os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação. E por fim, na classe D, estão inseridos resíduos perigosos oriundos do processo de construção civil, como tintas, óleos, solventes e outros.

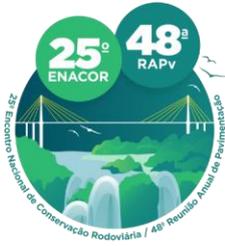
Seguindo essa linha de classificação dos RCD, a ABNT NBR 15116/2004 (Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos) ainda tem uma classificação particular sobre a classe A.

A NBR 15116/2004 define que todos os resíduos na forma de agregados devem ser classificados como Agregado de Resíduo de Concreto (ARC), ou Agregado de Resíduo Misto (ARM). Os ARCs são agregados que, na sua fração, obtém o mínimo de 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas. Os ARMs são agregados compostos, na sua fração graúda, com menos de 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rocha.

Geração do RCD

Segundo Pinto (1999), há alguns anos atrás não havia qualquer indicador para a ocorrência de perdas na construção civil, e pouco sabia sobre a geração dos resíduos de construção e demolição, a não ser a frequência dessa geração, visto através das grandes quantidades de entulhos que se observavam nos ambientes urbanos. A aceleração do processo de urbanização e a estabilização da economia evidenciaram o alto volume de resíduos de construção e demolição, refletindo um problema estrutural nos municípios, que não tem condições de gerenciar esses resíduos (HALMEMAN *et al.*, 2009).

De acordo com Gómez (2011) as quantidades de resíduos gerados podem variar de uma comunidade para outra, sendo que essa variação é causada em partes pelas diferentes técnicas de



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



construção, e pelo crescimento histórico e econômico da comunidade. No entanto, Santos (2007) destaca que um dos fatores que influencia diretamente na geração dos resíduos, é o nível de desenvolvimento da cidade, pois isso reflete no grau de atividades econômicas e conseqüentemente afeta os hábitos de consumo da população, interferindo diretamente nos bens e serviços prestados, e dessa forma, gerando os volumes de resíduos recorrente dos mesmos.

Para John (2000), os resíduos da construção, são gerados em vários momentos do ciclo de vida das construções, sendo na fase de construção (canteiro), na fase de manutenção e reformas, e na demolição de edifícios. Além dos resíduos gerados durante construções ou manutenções, também existem os resíduos provenientes de demolições. Esses resíduos podem ser gerados por deficiências ou falhas nos projetos, ou na execução (TAVARES, 2007).

METODOLOGIA

A metodologia desse trabalho contempla a coleta, o beneficiamento, a análise e a caracterização do RCD gerado nas obras da cidade de Patos de Minas, Minas Gerais, no ano de 2017, seguindo todas as normatizações impostas pela ABNT NBR 15116/2004, a fim de se verificar a sua utilização em camadas de pavimentação.

A coleta do material utilizado e analisado foi feita em uma usina recicladora localizada no município, a qual promove o processo de catação, triagem e a britagem dos agregados reciclados. Tal empresa é a primeira e única do município que recebe todos os entulhos provenientes das obras em execução na cidade e busca beneficiar de forma sustentável todo esse material. Assim que o material chega ao pátio da empresa, o mesmo é separado manualmente entre o que pode ser levado à usina britadora (concretos, cerâmicas, etc.), e o que precisa ser eventualmente descartado (madeiras, plásticos, isopores, etc.). Após a triagem de todo esse material, os resíduos são levados a uma usina recicladora, com o auxílio de uma pá carregadeira, que faz todo o procedimento de britagem desse material na granulometria desejada. Dessa forma, com a autorização dos responsáveis pela empresa, além de acompanhar todo o processo de produção, foi autorizada a coleta dos agregados já britados para que fossem feitos os estudos necessários a fim de avaliar a viabilidade técnica desse material para a utilização nas camadas de pavimentação rodoviária.

Como todos os agregados coletados já estavam britados, todo o processo de coleta obedeceu aos parâmetros da Classe A descrita na resolução de 307/2002 do CONAMA, que são os resíduos reutilizáveis ou reciclados como agregados. Assim, foram executados os ensaios de determinação da composição dos agregados graúdos por análise visual, índice de forma, limites de Atterberg, absorção, abrasão “Los Angeles”, análise granulométrica, compactação, expansão e Índice de Suporte Califórnia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Determinação da Composição dos Agregados Graúdos por Análise Visual

Após a separação dos agregados reciclados graúdos, foi observado que não havia fragmentos de materiais não minerais em sua composição, o que pode ser atribuído ao fato de o processo de coleta e beneficiamento na usina ser criterioso e eficiente. Após o processo de separação, foi obtido o percentual de cada um dos materiais analisados.

Dessa forma, verificou-se uma composição da amostra de 75% de resíduo de concreto, 13% de resíduo cerâmico e 12% de resíduo de rocha. Assim, foi possível observar que a soma dos



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



percentuais dos resíduos de concreto e dos resíduos de rocha não somam um valor superior a 90% da amostra total analisada. Dessa forma, conforme a ABNT NBR 15116/2004, trata-se de um agregado de resíduo misto (ARM).

Índice de Forma

O índice de forma encontrado nos agregados graúdos reciclados foi de 1,2. A ABNT NBR 15116/2004 determina que o valor aceitável para esse ensaio seja menor ou igual a 3. Sendo assim, a amostra analisada está em conformidade com o valor limite normatizado.

Delongui (2012) obteve um índice de forma de 2,48 dos seus AGR somente após a compactação do material. Segundo o autor, esse valor só foi alcançado devido ao fato da compactação diminuir o índice de forma desses agregados em 20%. Antes da compactação, o valor obtido tinha sido de 3,62. Leite (2001) analisou em sua pesquisa as características físicas e granulométricas dos agregados graúdos e miúdos reciclados a partir do beneficiamento dos resíduos coletados no aterro de inertes da zona sul de Porto Alegre e obteve um valor para o índice de forma desses agregados de 2,3. Fernandes (2004), ao analisar as características mecânicas dos resíduos de construção e demolição dos municípios de Belo Horizonte e Rio de Janeiro, encontrou um valor para o índice de forma proveniente da usina de Estoril de 2,8.

Limites de Atterberg

Os limites de Atterberg são feitos somente com os agregados reciclados miúdos. Mesmo que esses agregados tenham, em sua composição, um pequeno percentual de finos, não foi possível obter os seus limites de plasticidade e liquidez, ou seja, trata-se de um material não plástico (NP). Isso se atribui ao fato de seus grãos serem bastante granulares, semelhantes aos grãos de areia.

Santos (2007) também obteve em seus resultados um material não plástico, elencando que este é um aspecto positivo para os RCD, uma vez que as determinadas normatizações sugerem o uso de materiais que não apresentem parcela de resistência coesiva. Gómez (2011), ao analisar o RCD proveniente da demolição do estádio Mané Garrincha, em Brasília, visando sua utilização nas bases para pavimentação rodoviária, também classificou seu material como não plástico. Carneiro, Burgos e Alberte (2001) também não conseguiram obter índices de liquidez e plasticidade em seus materiais analisados.

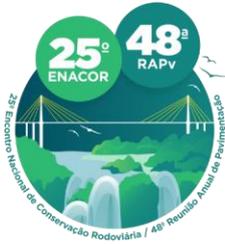
Absorção

O ensaio de absorção foi feito separadamente para os agregados graúdos reciclados e para os agregados miúdos reciclados obedecendo a suas respectivas normatizações. Dessa forma foram encontrados os teores de absorção conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Absorção dos agregados (SOUSA *et al.*, 2017).

Classificação dos agregados	Absorção (%)
Agregado Graúdo Reciclado	4,75
Agregado Miúdo Reciclado	5,53

Outros autores também buscaram encontrar o percentual de absorção dos agregados analisados, e foi possível observar diferentes resultados nos ensaios em questão. Para Motta (2005), a causa de



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



tal variação pode ser atribuída à heterogeneidade dos materiais analisados, ou seja, suas diferentes composições podem determinar de forma efetiva o seu percentual de absorção. Leite (2007) observa que os materiais cerâmicos como telha e tijolos apresentam um índice de absorção muito superior a outros materiais, como a brita, por exemplo, o que determina de forma pertinente o quanto a composição dos agregados influenciará no seu percentual de absorção.

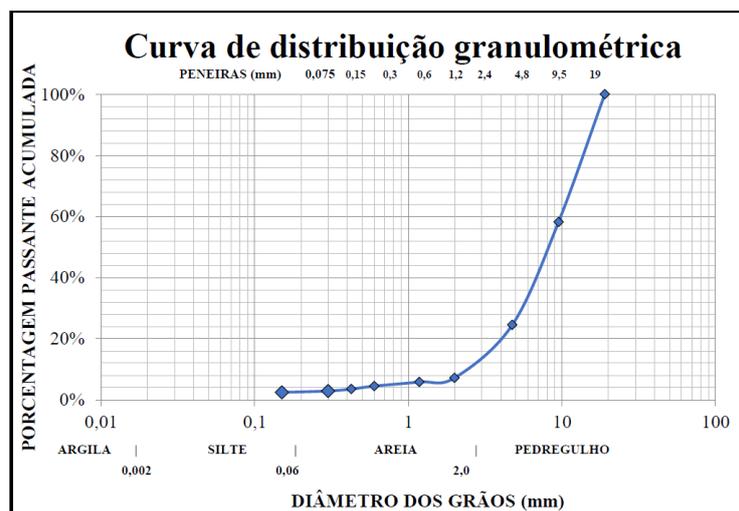
De maneira geral, verificou-se que o teor de absorção encontrado apresentou um valor inferior aos das pesquisas elaboradas por Gentil (2014), Leite (2001) e Carneiro, Burgos e Alberte (2001), as quais também envolveram agregados reciclados.

Abrasão “Los Angeles”

O ensaio abrasão “Los Angeles” realizado na amostra em estudo apresentou um valor de 55%. A norma DNIT 141/2010 – ES (Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente – Especificação de serviço) descreve que os agregados não devem apresentar um desgaste superior a 55%, porém, se admite valores superiores em casos em que a utilização anterior desses agregados tenha apresentado resultados satisfatórios. A ABTN NBR 15116/2004 não especifica valores limites para este ensaio. Delongui (2012) argumenta que a baixa abrasividade dos agregados em estudo auxilia no preenchimento dos vazios no momento em que a amostra é compactada, ou seja, isso pode auxiliar em um melhor resultado nos ensaios de caracterização mecânica. Segundo Motta (2005), a variação dos resultados encontrados nos ensaios de abrasão dos agregados reciclados se deve a sua composição e origem, o que dificultaria encontrar um resultado limite de desgaste para esse material. Sendo assim, o resultado do ensaio foi satisfatório obedecendo às normatizações adequadas que limitam o valor do ensaio de abrasão de Los Angeles, porém, mesmo que esse resultado fosse superior, diante de outros estudos o material poderia ser utilizado uma vez que já tenha se mostrado eficiente.

Análise Granulométrica

A análise granulométrica dos agregados reciclados indicou que os resíduos são formados por 71,60% de pedregulho, 28,40% de areia. A curva granulométrica está representada na Figura 1.





19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Figura 1 - Curva da distribuição granulométrica (SOUSA *et al.*, 2017).

A partir da curva granulométrica do RCD é possível inferir que a composição granulométrica do agregado é não uniforme e bem graduada, apresentando coeficiente de uniformidade (C_u) maior que 10 e dimensão característica de 19 mm. Verificou-se, também, que o agregado possui um percentual de material passante na peneira de 0,42 mm de 3,55%, sendo que, segundo a ABNT NBR 15116/2004, um dos requisitos gerais para o agregado reciclado no uso da pavimentação é de 10% a 40%. Dessa forma o material analisado não atingiu suas especificações. De acordo com Motta (2005), é bastante difícil enquadrar esse tipo de material em uma faixa granulométrica normatizada devido ao fracionamento dos grãos que ocorre durante o processo de peneiramento. Assim, a estabilização granulométrica se deu elaborando três tipos de mistura entre agregados graúdos e miúdos, de forma a atingir as faixas granulométricas determinadas pela ABNT NBR 11804/1991 (Materiais para sub-base ou base de pavimentos estabilizados granulometricamente):

- Amostra 01: 80% Agregados Graúdos / 20% Agregados Miúdos
- Amostra 02: 50% Agregados Graúdos / 50% Agregados Miúdos
- Amostra 03: 20% Agregados Graúdos / 80% Agregados Miúdo

A amostra 01 se enquadra na classe A e as amostras 02 e 03 na classe D da ABNT NBR 11804/1991, garantindo, assim, a estabilização granulométrica.

Compactação

O ensaio de compactação foi realizado para as três misturas, considerando a energia de compactação intermediária. A Figura 2 apresenta as curvas granulométricas das três amostras analisadas.

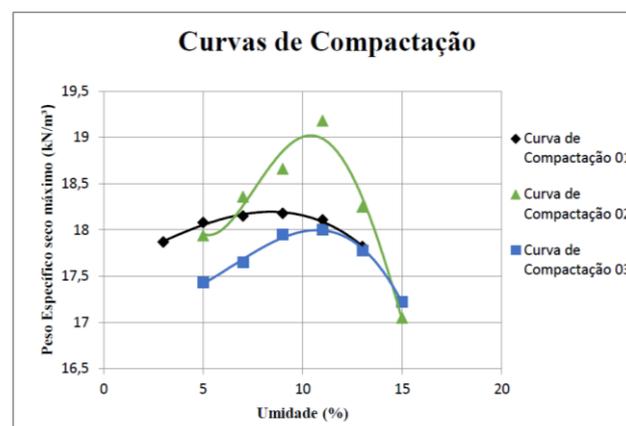
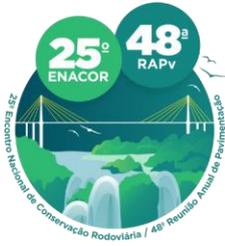


Figura 2 - Curvas de compactação das três amostras (SOUSA *et al.*, 2017).

Assim, os valores de peso específico seco máximo e umidade ótima das misturas são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Peso específico seco máximo e umidade ótima das amostras (SOUSA *et al.*, 2017).

Amostras	$\gamma_{d_{máx}}$ (kN/m ³)	$W_{ót}$ (%)
01	18,20	8,8
02	19,18	11,2
03	18,00	11,0



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



É possível observar, através da curva de compactação da Amostra 01, que a mesma apresentou o menor valor de umidade ótima e um peso específico seco baixo. Segundo Delongui (2012), como esse material apresenta uma granulometria mais grosseira, necessitou-se de menor quantidade de água, o que influenciou na trabalhabilidade da amostra, resultando assim em um maior índice de vazios e, conseqüentemente, em um menor peso específico seco máximo. Ao compactar a amostra, foi observado também que, devido à grande quantidade de material graúdo, as partículas presentes na mistura não se adensavam de forma eficiente, confirmando assim as análises feitas.

Já a Amostra 02 apresentou os maiores valores de peso específico seco máximo e umidade ótima, dentre as três misturas. O fato dessa mistura ter uma maior quantidade de material fino confere a ela uma melhor trabalhabilidade, preenchendo melhor os vazios deixados pelos agregados graúdos.

Por outro lado, a Amostra 3, devido à grande quantidade de agregados miúdos, obteve uma umidade ótima elevada. Porém o excesso de partículas mais finas também atrapalhou o processo de compactação, conferindo o mais baixo peso específico seco máximo, dentre as misturas analisadas. Moreira, Dias e Rezende (2007) e Gentil (2014) também estudaram o comportamento desses agregados enquadrando-os nas faixas A e D da ABNT NBR 11894/1991, e obtiveram resultados muito semelhantes aos feitos nessa pesquisa.

Expansão e Índice de Suporte Califórnia

Com o valor da umidade ótima encontrado no ensaio de compactação, para cada uma das três misturas, foram moldados os corpos de prova para a execução do ensaio de expansão e Índice de Suporte Califórnia (ISC), também denominado como California Bearing Ratio (CBR). Os corpos de prova foram moldados com a mesma energia de compactação aplicada no ensaio de compactação (energia intermediária). Após serem compactados, os corpos de prova foram imersos em um tanque com água por 4 dias (96 horas) e foram então rompidos. As três amostras apresentaram comportamento, conforme a Figura 3.

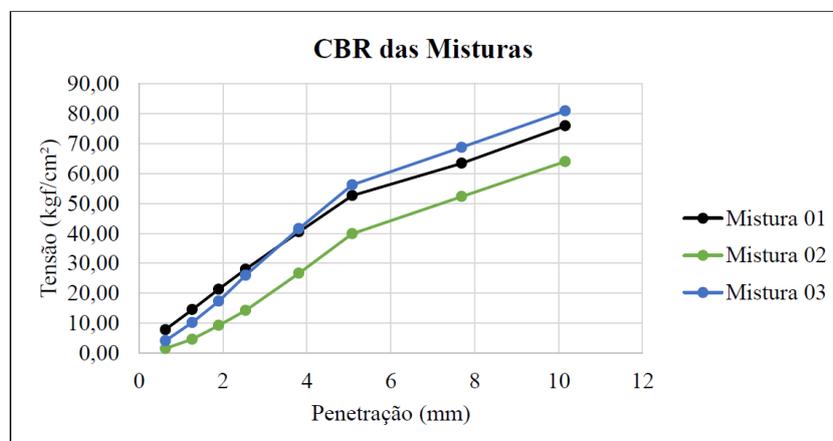
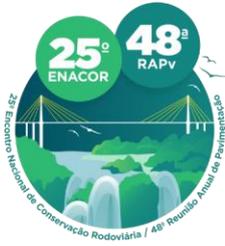


Figura 3 – CBR das amostras (SOUSA *et al.*, 2017).

Assim, os resultados de CBR e de expansão das misturas estão apresentados na Tabela 3.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Tabela 3 - Valores de CBR e expansão das amostras (SOUSA *et al.*, 2017).

Amostras	CBR (%)	Expansão (%)
01	50	0,0
02	38	0,8
03	53	0,0

O maior valor de CBR foi encontrado na amostra 03, que se enquadra na faixa D da ABNT NBR 11804/1991. Isso pode ser atribuído ao fato da grande presença de materiais finos na mistura, que deram consistência à amostra, permitindo que a mesma atingisse esse valor. A mistura 02, que também se enquadrava na faixa D, apresentou o menor valor de CBR e um maior valor de expansão. Para Motta (2005) as diferenças que ocorrem entre os valores de CBR oriundos dos agregados reciclados, podem ser devido às suas composições, granulometrias ou até mesmo nos seus teores de umidade. Isso explica o fato de matérias na mesma faixa granulométrica, apresentarem diferentes valores de CBR.

A amostra 01, que se enquadrava na faixa granulométrica A, apresentou um valor de CBR um pouco menor que a amostra 03, e com a mesma expansão nula. Observa-se que mesmo com a baixa presença de material fino, a mistura apresentou um resultado satisfatório.

Diante das especificações contidas na ABNT NBR 15116/2004, todas as amostras podem ser aplicadas nas camadas de reforço de subleito, sub-base e revestimento primário. Para que qualquer uma dessas amostras possa ser aplicada nas camadas de base dos pavimentos, as mesmas deveriam obter um valor de CBR superior a 60%, e uma expansão menor que 0,5%. Sendo assim, as amostras não se enquadram nesses requisitos.

Segundo Gómez (2011), a resistência à penetração do corpo de prova aumenta de acordo com a energia de compactação, ou seja, quanto maior a energia aplicada ao corpo de prova, melhor será o adensamento e o embricamento das partículas. Sendo assim, de acordo com a autora, é possível que se fosse aplicada uma maior energia de compactação as amostras estudadas, elas poderiam atingir valores de CBR que seriam satisfatórios para serem aplicados nas camadas de base.

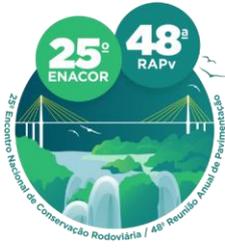
A tabela 4 demonstra valores de CBR e expansão dos agregados reciclados mistos encontrados em outros estudos.

Tabela 4 - CBR e expansão de outros autores (SOUSA *et al.*, 2017).

CBR (%)	Expansão (%)	Autor
73	0	Leite (2007)
113,7	0	Gómez (2011)
33 – 116*	0 - 0,02	Delongui (2012)
52,3 - 90,7*	0	Gentil (2014)
75 – 125*	0	Motta (2005)

*Valores mínimos e máximos obtidos pelos autores.

Analisando os resultados obtidos nas outras pesquisas, nota-se que os valores de CBR e expansão das amostras analisadas, bem como de demais autores, possibilitam a aplicação de RCD como agregados para a execução de camadas do pavimento.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o processo de estudo e pesquisa a cerca desse tema, foi possível observar que a reutilização dos agregados reciclados, oriundos da construção e demolição, tem um alto potencial técnico, além de representar uma opção sustentável para um material que antes seria descartado de qualquer forma em locais inapropriados para receber esses resíduos.

Pelos resultados encontrados, verifica-se que os agregados reciclados possam ser utilizados nas camadas de reforço de subleito, subleito, sub-base e revestimento primário. Contudo, é válido ressaltar que os agregados reciclados apresentam diferentes composições, sendo um material bastante heterogêneo, o que influencia diretamente nos resultados obtidos nos ensaios de caracterização.

Dessa forma, os resultados obtidos permitem concluir que os resíduos de construção e demolição da cidade de Patos de Minas apresentam uma potencial viabilidade técnica para sua utilização na pavimentação viária, e que suas características físicas e mecânicas atendem a requisitos normatizados para sua empregabilidade. Sugere-se, assim, que demais amostras de RCDs sejam analisadas, a fim de garantir um maior nível de confiabilidade dos resultados, e que sejam executados testes na pista de rolamento, aplicando este material em trechos experimentais, a fim de verificar em campo o seu comportamento.

Sendo assim, a utilização desse material evidencia-se como uma solução sustentável e com características técnicas satisfatórias para as camadas de pavimentação, uma vez que dá disposição adequada a um resíduo, reutilizando-o como matéria-prima e ainda reduzindo a exploração novas de jazidas, minimizando os impactos ambientais.

REFERÊNCIAS

ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**: 2022. São Paulo, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo – Determinação do Limite de Liquidez - Método de Ensaio. Rio de Janeiro, Outubro 2016.

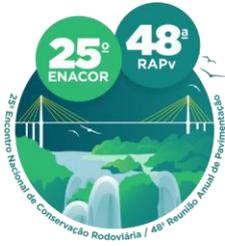
CARNEIRO, A.P.; BURGOS, P.C; ALBERTE, E.P.V. **Uso do agregado reciclado em camadas de base e sub-base de pavimentos**. Projeto Entulho Bom. Salvador: EDUFBA / Caixa Econômica Federal , 2001.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução 307**, de 5 de julho de 2002.

DELONGUI, L. **Caracterização e adequação dos resíduos da construção civil produzidos no município de Santa Maria - RS para aplicação em pavimentação**. 2012. 220p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil e Preservação Ambiental). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2012.

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

GENTIL, A. G. **Caracterização do resíduo de construção e demolição de Rio Paranaíba para utilização em camadas de base, sub-base, reforço de subleito e revestimento primário**. 2014. Monografia. Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba-MG.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



GRUBBA, D. C. R. P. **Estudo do comportamento mecânico de um agregado reciclado de concreto para utilização na construção rodoviária**. 2009. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2009.

HALMEMAN, M.C.R.; SOUZA, P.C.; CASARIN, A.N. **Caracterização dos resíduos de construção e demolição na unidade de recebimento de resíduos sólidos no município de Campo Mourão – PR**. Revista Tecnológica, Edição especial ENTECA 2009, 2009. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/RevTecnol/article/view/8821/5186>>. Acesso em: 20 maio 2017.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo, 2000. 113p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

LEITE, F. C. **Comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimentos**. 2007. 216p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.

MOREIRA, J. F.; DIAS, J. F.; REZENDE, M. E. B. Utilização de resíduos de construção e demolição em base de pavimentos na cidade de Uberlândia – MG. **Vias Gerais**, n. 06, p. 49 – 54, fev. 2007.

MOTTA, R. S. **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido de construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego**. 2005. 161p. Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Transportes). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 218p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

SANTOS, Eder Carlos Guedes dos. **Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD – R) em estruturas de solo reforçado**. 2007. 168p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007.

TAVARES, L. P. M. **Levantamento e análise da deposição e destinação dos resíduos da construção civil em Ituiutaba, MG**. 2007. 160p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2007.