

USO DE RESÍDUOS DE CERÂMICA VERMELHA PARA O MELHORAMENTO DE CAMADAS DE PAVIMENTOS DE BAIXO TRÁFEGO EM PALMAS-TO

WASTE USE OF CERAMIC RED FOR LAYERS OF IMPROVEMENT FLOOR DOWN TRAFFIC IN PALMAS-TO

João Paulo Souza Silva

Professor Adjunto na Universidade Federal de Goiás - UFG, Departamento de Engenharia de Transportes, Aparecida de Goiânia-GO, Brasil. (jpss@ufg.br)

Silas Barbosa Carvalho

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Tocantins-UFT - Palmas-TO.

Resumo

A atividade humana tem sido um grande motivo de preocupação quando se trata do meio ambiente, principalmente pelos efeitos destrutivos gerados por ela. Nesse âmbito se enquadra a construção civil, a qual se revela como uma atividade humana geradora de resíduos, e é no intuito de minimizar o efeito ambiental da disposição de alguns desses resíduos que se desenvolve o presente trabalho. O material escolhido para a análise é o resíduo de cerâmica vermelha (RCV), proveniente do processo de fabricação de cerâmica vermelha e disposto, em sua maioria, de forma inadequada no meio ambiente. Assim, viu-se a possibilidade de adequar esse resíduo para a função estrutural, especificamente na camada de base de um pavimento. Para a análise e estudo, foram coletadas amostras de solo no município de Palmas-TO, o qual possui inúmeras vias de relevada importância ainda sem pavimentação. As análises das amostras consistiram na mistura de agregado de cerâmica vermelha ao solo coletado, as quais, por sua vez, foram devidamente caracterizadas por meio de ensaios normatizados. A partir da análise comparativa dos resultados das amostras ensaiadas entre si e também com relação ao solo original, observou-se o comportamento das amostras diante de esforços do tráfego. Por fim, conforme resultados obtidos e discutidos, a utilização de resíduos de cerâmica vermelha como agregado na camada de base de pavimento rodoviário no município de Palmas-TO é indicada, principalmente quando analisado o método ISC, obtendo um resultado conforme recomendação do DNIT (2006).

Palavras-chave: resíduo; resíduo de cerâmica vermelha; pavimentação; Base.

Abstract

The human activity has been a major concern when it comes to the environment, mainly by the destructive effects caused by it. In this context falls within the construction industry, which is revealed as a human activity generates waste and is in order to minimize the environmental effect of the disposal of some of these residues that develops this work. The material chosen for analysis is the red ceramic residue (RCV) from the red ceramic manufacturing process and arranged mostly improperly in the environment. Thus, it was able to fit this residue for structural function, specifically in the base layer of pavement. For the analysis and study, soil samples were collected in the city of Palmas-TO, which has numerous avenues of high importance still unpaved. Such analyzes consisted of red ceramic aggregate mixture to the soil collected, which in turn have been duly characterized by standardized tests. From the comparative analysis of the results of the samples tested with each other and with the original soil was observed the behavior of the samples before traffic efforts. Finally, as obtained and discussed results, the use of red ceramic waste as aggregate in road pavement base layer in the city of Palmas- TO, are indicated, especially when analyzing the ISC method, getting a result as DNIT's recommendation.

Key-words: waste; red ceramic residue; pavement; Base

1 INTRODUÇÃO

Em razão da grande relevância das questões ligadas à preservação ambiental e qualidade de vida, as pesquisas na área da Engenharia Civil têm dedicado especial atenção à reciclagem de materiais, buscando, deste modo, modelos de produção e consumo mais sustentáveis. Neste sentido, um assunto de grande importância diz respeito ao reaproveitamento dos resíduos da fabricação de material cerâmico como agregado reciclado, uma vez que a construção civil é responsável por grande parte dos recursos naturais extraídos.

Redivo (2011) comenta que a fabricação de produtos cerâmicos gera grande quantidade de resíduos que, por falta de um direcionamento adequado, acaba se transformando em simples entulho. Os resíduos gerados no processo de fabricação de material cerâmico são peças inteiras que não apresentam alguma característica exigida para comercialização ou que sofreram quebras durante o seu manuseio.

Um dos resíduos mais descartados na construção civil é o resíduo de cerâmica vermelha. O setor cerâmico equivale a 1,0 % do PIB brasileiro, sendo que só a cerâmica vermelha estrutural representa cerca de 40% desse valor e 4,8% da indústria da construção civil (IBGE, 2008).

Segundo Bustamante e Bressiani (2000), este segmento produz blocos cerâmicos furados, blocos cerâmicos maciços, tabelas ou lajes, blocos de vedação e estruturais, telhas, manilhas e pisos rústicos, e movimentam ao redor de 60.000.000 toneladas de matérias-primas ao ano, com reflexo nas vias de transporte e no meio ambiente de lavra de argila.

Uma análise realizada por Cavalcante *et al.* (2001 *apud* DIAS, 2004) demonstrou que o agregado reciclado mostrou-se adequado para ser utilizado como material para execução de camadas de base e sub-base de pavimentos na região metropolitana de Salvador. No entanto, Dias (2004) destaca a importância da realização de testes específicos para materiais regionais, visto que tanto o solo quanto o agregado reciclado possuem características próprias.

Diante da crescente quantidade de produção de resíduos e da elevada utilização de recursos naturais, Bastos *et al.* (2013) salientam que o desenvolvimento de novos materiais esteja não somente ligado aos aspectos econômicos, mas também aos aspectos ambientais e sociais. Tal desenvolvimento deve se basear no desenvolvimento sustentável e em modelos cíclicos de produção e consumo, de forma que os materiais possam voltar para as fases iniciais de produção após o fim de sua vida útil. Ribeiro e Moura (2016) confirmam que isso proporciona a redução no consumo de matérias-primas por meio da reciclagem e reutilização de materiais, reduzindo, consecutivamente, o volume de resíduos descartados e os custos agregados ao setor.

Existe uma tendência regional de escassez de materiais adequados para as diversas camadas de um pavimento, e as jazidas de cascalho, tradicionalmente utilizadas para base rodoviária, encontram-se hoje em fase de exaustão. Há também na região de Palmas e em todo o Estado do Tocantins carência de jazidas de britas.

É importante ressaltar, ainda, que o crescimento desordenado da cidade culmina com o aparecimento de zonas urbanas que, por vezes, contam com infraestrutura mínima em todos os setores, inclusive ausência de serviços de pavimentação adequados.

Todos estes fatores conjuntos apontam naturalmente para a busca de alternativas de utilização de materiais e técnicas adequadas, como também de reciclagem dos materiais considerados resíduos de produção.

Como alternativa à solução desse problema, dentro de tais perspectivas, a presente pesquisa pretende analisar o uso de material cerâmico como agregado reciclado, proveniente de resíduos de fabricação de telhas e tijolos, para o melhoramento de camadas de reforço de pavimentos de baixo tráfego em Palmas-TO. Deste modo, espera-se encontrar uma solução comum ao problema ambiental do descarte dos resíduos de fabricação de material cerâmico e à escassez de agregado para pavimentação no município.

Pesquisas anteriores mencionadas neste trabalho não tratam da utilização do resíduo para pavimentação urbana. Assim, o presente estudo mostra a importância da aplicação dos

resíduos gerados na própria região metropolitana do município de Palmas, trazendo um ganho expressivo na redução do consumo de matérias-primas e, ainda, solucionando o problema do calçamento de vias em regiões altamente adensadas que não possuíam rede pavimentada.

2 METODOLOGIA

Para a metodologia deste trabalho, foram desenvolvidos vários procedimentos no Laboratório de Solos da Universidade Federal do Tocantins-UFT, de modo a caracterizar o solo de subleito de uma região que possui avenidas arteriais de grande importância para a fluidez do tráfego, mas que ainda não foram pavimentadas na cidade de Palmas-TO.

Iniciou-se com as amostragens dos solos, devidamente identificadas e georreferenciadas em setembro de 2015 e, em seguida, caracterizadas por meio de ensaios geotécnicos. Após esta etapa, foram feitas comparações entre as características dos solos da região e a composição de três amostras do solo com adição de resíduo de cerâmica vermelha (RCV), que também foram ensaiadas: Amostra A1 de 100% de solo; Amostra A2 de 60% de solo + 40% de RCV; Amostra A3 de 50% de solo + 50% de RCV; e Amostra A4 de 25% de solo + 75% de RCV. Foram executados ensaios de caracterização granulométrica e densidade real dos grãos das amostras, limites de consistência, Classificação SUCS e TRB para as amostras de solo.

Após determinação de tais parâmetros físicos, foram executados ensaios de Compactação, Índice de Suporte Califórnia (ISC), expansão, índice de vazios e grau de saturação para todas as amostras. A avaliação das amostras de Solo+RCV foi baseada em parâmetros técnicos para projetos rodoviários, analisando valores mínimos exigidos pelo Manual de Pavimentação Rodoviária (DNIT, 2006) e pela NBR 15.115 (ABNT, 2004). Nos itens que se seguem, são apresentados os materiais e a metodologia utilizados para desenvolvimento deste trabalho, o solo natural e o RCV. Posteriormente, são expostos os resultados obtidos nos experimentos.

2.1 Materiais utilizados

Nesta pesquisa, foram estudados RCVs provenientes de indústrias de produção de blocos cerâmicos no município de Palmas-TO, juntamente com o solo do subleito de avenidas não pavimentadas da Quadra 309 Sul.

O material granular proveniente do resíduo de cerâmica vermelha foi obtido por meio de fragmentação manual, através de golpes aplicados ao RCV, com utilização de um soquete de compactação. Tal procedimento de compactação está ilustrado na figura abaixo **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Ainda nesta etapa, houve uma tentativa de fragmentação do material através de um moinho, no laboratório, porém, tal processo não foi efetivo, devido à geração de grande quantidade de material de fundo após passagem pelo moinho e peneiramento.

Considerando que a tentativa de acelerar o processo de fragmentação do RCV utilizando o moinho não foi eficiente, optou-se por continuar manualmente através da aplicação de golpes com o soquete de compactação.

A avaliação das características geotécnicas dos solos de subleitos foi feita a partir de coletas de amostras deformadas de solo, seguindo para armazenagem do mesmo e, então, para a realização dos ensaios no Laboratório de Infraestrutura e Materiais da Universidade Federal do Tocantins – INFRAMAT. Foram realizados ensaios de Granulometria, Limites físicos, Compactação e Índice de Suporte Califórnia (ISC).

Além do solo de subleito, foi utilizado como material para camada de base para essa pesquisa o RCV (Resíduo de cerâmica vermelha), obtido por meio da coleta de tijolos provenientes de resíduos de fábricas locais.

2.2 Ensaios geotécnicos

Com base em trabalhos anteriores de Dias (2004) e Redivo (2011), a metodologia adotada para obtenção dos resultados foi dividida em três etapas, descritas com detalhes a seguir.

Etapa I: Coleta e caracterização de solo típico das camadas de subleito utilizado em pavimentação no município de Palmas-TO.

Como se trata de um estudo regional, para que haja validação dos resultados, foram utilizados materiais tipicamente locais. Assim, o solo a ser misturado com o agregado cerâmico foi extraído numa jazida onde o solo para camadas de reforço de pavimentos locais é comumente coletado, mais especificadamente solo do subleito de duas avenidas não pavimentadas da Quadra 309 Sul.

Etapa II: Análise da mistura entre solo e material cerâmico resultante de resíduos da fabricação de tijolos

Esta etapa compreende o início propriamente dito do estudo do desempenho do material cerâmico como agregado reciclado, com os seguintes passos:

No primeiro momento, foi feita a coleta de RCV em indústrias cerâmicas próximas e dentro do próprio município de Palmas-TO, transportando o material até o INFRAMAT e armazenando-o.

No segundo passo, foi estimada a quantidade de RCV necessária para a realização de todos os ensaios e para a

mistura nas proporções especificadas do conjunto solo-resíduo.

Definida a estimativa inicial de material necessário para a realização dos ensaios, como passo seguinte, foi definida a forma de fragmentação do RCV, adequando às condições e equipamentos presentes no INFRAMAT. Analisando essas condições, a maneira definida para a fragmentação foi manual, através de golpes aplicados ao RCV, com utilização de um soquete de compactação.

Depois de fragmentado e peneirado, o material atingiu a granulometria desejada, preconizada (Faixa E do DNIT). Os RCVs foram misturados com o solo natural já preparado anteriormente. O processo de mistura se baseou na quantidade de cada material retido nas peneiras 2", 3/8", nº4, nº10, nº40, nº200, previamente calculados juntamente com a estimativa de material necessário para os ensaios e a quantidade de solo, para atingir, então, a proporção desejada. Essa quantidade foi homogeneizada e partiu para o passo seguinte. Para exemplificação dos materiais utilizados na mistura, temos a figura a seguir:

Figura 1: Resíduos cerâmicos



- (a) RCV coletado;
- (b) RCV fragmentado;
- (c) soquete utilizado na fragmentação;
- (d) armazenagem após fragmentação;
- (e) aplicação de golpes do soquete

Fonte: Próprio autor.

Figura 2: Solo (esq.) e RCV fragmentado (dir.) preparados para mistura



Fonte: Próprio autor.

No passo seguinte, realizaram-se os ensaios de densidade real dos grãos, limites de consistência (LL e LP) e análise granulométrica. As composições granulométricas das amostras foram analisadas com base na NBR 7181 (ABNT, 1984c) e o Limite de Plasticidade especificado conforme normativa 082/94. Por fim, foram realizados os ensaios de compactação, cuja dificuldade encontrada refere-se à estimativa inicial de quantidade de água necessária para a moldagem dos corpos de provas; fato explicado pela maior porcentagem de RCV incorporada ao solo, sendo um material bastante poroso e com grande absorção de água. Isto levou a moldagem de 7 corpos de prova ao invés de 5.

A partir da conclusão das etapas supracitadas, a mistura Solo-RCV foi devidamente caracterizada. Para a determinação da melhor proporção da mistura “solo-resíduo”, foram utilizadas para o estudo três proporções em peso: 40% solo e 60% agregado reciclado de tijolos, 50% solo e 50% agregado reciclado de tijolos e 75% solo e 25% agregado reciclado de tijolos. Deste modo, obtiveram-se ao final desta etapa três amostras da mistura solo-resíduo. Vale ainda ressaltar que, para a classificação das amostras de solo, foram adotados dois tipos de classificação, com suas respectivas metodologias: SUCS e TRB.

Etapa III: Comparação dos resultados obtidos, apontamento da dosagem mais viável técnica e economicamente para utilização no melhoramento de camadas de pavimentos

Após a realização dos ensaios mencionados, totalizando três amostras da mistura solo-resíduo, resultantes das duas etapas anteriores, foi possível indicar, por meio de comparação dos resultados, qual dosagem da mistura apresentou melhor desempenho técnico e sua possibilidade técnica para a utilização em camadas de base de pavimentos de baixo tráfego em Palmas-TO.

2.3 Ensaio de determinação da resistência mecânica

Da etapa de determinação da resistência mecânica depende a espessura das camadas do pavimento quando mensurado segundo o método de dimensionamento empírico do DNIT. O ensaio Índice de Suporte Califórnia – ISC é padronizado pela norma rodoviária ME 049/94 (DNER, 1994a) e foi realizado em sequência ao ensaio de compactação, pois para sua realização foram utilizados os corpos de prova anteriormente moldados.

A partir dos resultados dos ensaios de compactação foi possível determinar a massa específica aparente seca máxima que o solo pôde atingir naquele ensaio e sua respectiva umidade ótima. Com isso, foram moldados mais 3 corpos de prova de cada solo com essa umidade próxima à ótima, determinada no ensaio de compactação, para que fosse possível um resultado de ISC confiável.

Antes de realizar o ensaio de penetração para a determinação do dado de ISC, extensômetros foram devidamente acoplados aos cilindros e, então, os corpos de prova

foram imersos em água por quatro dias. Durante esse período, realizaram-se medidas de expansão do solo, de acordo com a norma

rodoviária ME 049/94 (DNER, 1994a). A figura abaixo ilustra todo o processo executado.

Figura 3: Execução do ensaio de ISC



Fonte: Acervo pessoal.

Ao final das 96 horas de imersão, os cilindros foram retirados da água; depois de 15 minutos, tiveram seus pesos aferidos e, em seguida, levados para a prensa, quando houve uma penetração de um pistão com área de contato circular de aproximadamente 19,5 cm², e velocidade constante de 0,05 pol/min.

As leituras na prensa de ruptura do ISC mediram os encurtamentos diametrais provenientes da atuação das cargas necessárias para o cálculo da pressão. Com os dados de penetração e suas pressões calculadas correspondentes, foram plotadas as curvas pressão-penetração.

O ISC, em porcentagem, foi então calculado dividindo a pressão calculada pela pressão padrão (pressão da brita de referência), adotando-se para o índice CBR o maior dos valores obtidos nas penetrações de 0,1 e 0,2 polegadas.

3 RESULTADOS, ANÁLISES E DISCUSSÃO

3.1 Ensaios físicos

Para a determinação da densidade real dos grãos, realizada de acordo com a norma ME 093/94 (DNER, 1994b) para todas as amostras, os resultados podem ser observados na Tabela 1.

É possível observar que, após adição do RCV em todas as proporções, os resultados obtidos se afastaram daquele obtido para o material natural, entretanto, de acordo com Pinto (2006), percebe-se que os valores para massa específica se encontram dentro do intervalo de solos típicos brasileiros (2,4 – 2,9g/cm³).

A divergência de massa específica entre o solo natural e o material que recebeu adição de RCV deve-se à composição mineralógica, podendo apresentar óxidos de ferro que conferem uma maior massa específica ao solo.

Embora tenha sido observado esse comportamento, é importante destacar que o valor da massa específica depende de diferentes variáveis que, a princípio, pode se modificar facilmente em virtude da fabricação e da composição das misturas de argilas. Seguindo essa ideia, Pinto (2006) considera que somente o peso específico dos sólidos não é suficiente para caracterizar um solo em questão, sendo então necessária a realização de inúmeros outros experimentos que possam traçar um perfil geotécnico mais apurado do material. Assim, a seguir, são apresentados outros ensaios laboratoriais que poderão auxiliar nessa caracterização.

As composições granulométricas das amostras foram analisadas com base na NBR 7181 (ABNT, 1984c), observadas no Gráfico 1.

O solo natural apresentou uma classificação de Areia siltosa, ou seja, com material predominante de areia. A amostra contendo 60% de solo e 40% de RCV tem uma curva granulométrica mal graduada, com predominância de areia, representada por um total de 79,87% de sua formação, o que também foi observado na amostra contendo 25% de Solo e 75% de RCV, com o percentual de areia de 74,17%.

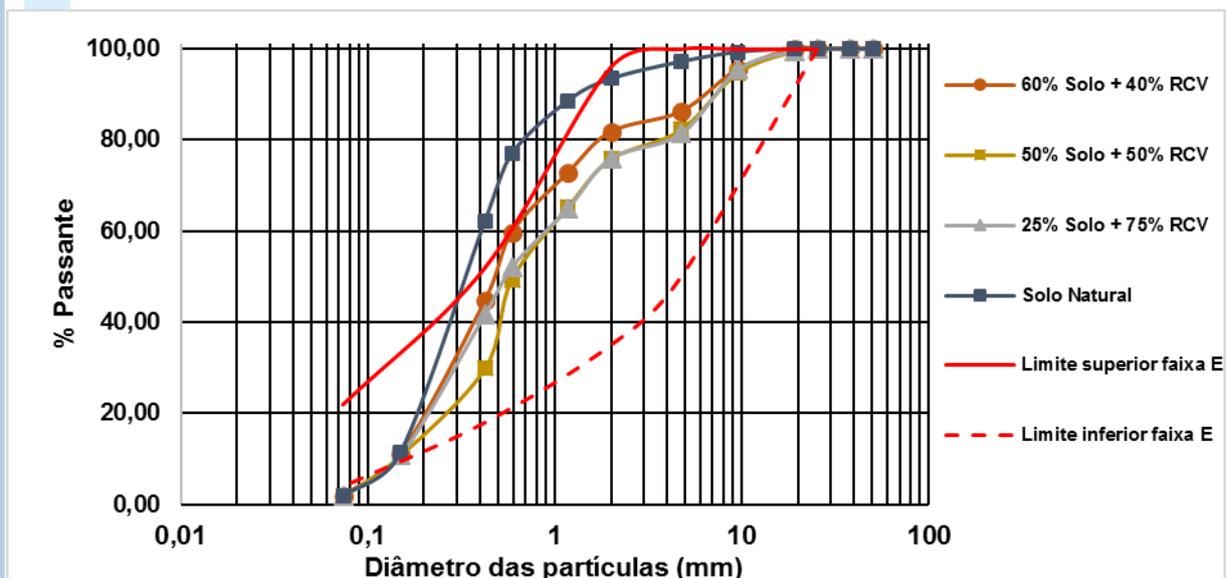
Já a amostra contendo 50% de solo e 50% de RCV apresenta uma curva bem graduada, com o montante de 73,68% de sua constituição arenosa. Esta amostra, com relação ao formato da curva granulométrica, pelo fato de apresentar-se com uma curva bem graduada, possui um melhor comportamento e, conseqüentemente, um melhor encaixe de suas partículas, podendo conferir um aterro mais denso e talvez mais resistente. Tal comportamento é verificado quando se analisa o Gráfico 1.

Tabela 1: Densidade real dos grãos

Material/Mistura	Massa Específica dos Grãos (g/cm ³)
Solo Natural	2,440
60% Solo + 40% RCV	2,766
50% Solo + 50% RCV	2,729
25% Solo + 75% RCV	2,740

Fonte: Próprio autor.

Gráfico 1: Distribuição granulométrica das amostras



Fonte: Próprio autor

A partir do gráfico acima, percebe-se que as curvas de todas as amostras obtiveram aparências semelhantes, ou seja, curvas teoricamente não uniformes, demonstrando característica de concentração maior em uma determinada faixa de diâmetro de grãos

(areais) e falta de outros diâmetros (argilas e siltes).

Com relação aos índices D10, D30 e D60, assim como parâmetros de coeficiente de curvatura (C_c) e coeficiente de não uniformidade (CNU), temos os seguintes dados apresentados na tabela abaixo.

Tabela 2: Classificação Cc e CNU

Amostras	Cc	Classificação Cc	CNU	Classificação CNU
Solo Natural	239,83	Mal graduado	239,833	Bem graduado
60% Solo + 40% RCV	0,873	Mal graduado	4,335	Mal graduado
50% Solo + 50% RCV	1,361	Bem graduado	6,637	Bem graduado
25% Solo + 75% RCV	0,644	Mal graduado	6,353	Bem graduado

Fonte: Próprio autor.

Com base nestes índices, as amostras de 60% Solo + 40% RCV e 25% Solo + 75% RCV, por apresentarem C_c inferiores a 1, possuem uma característica de descontinuidade na sua curva granulométrica; além disso, a amostra 60% Solo + 40% RCV apresentou ainda valor de CNU inferior a 6, permitindo classificá-lo como mal graduado. Tal descontinuidade pode ser explicada devido à falta de grãos de diâmetros reduzidos, ou seja, menores que 0,06 mm (argilas e siltes). Apesar de o RCV ser originado de um material argiloso, esta composição de 40% de RCV não foi suficiente para proporcionar um aumento significativo de menores diâmetros na mistura solo-resíduo, pois o RCV é um material calcinado que pode ser fragmentado em diâmetros diversos, não necessariamente iguais ao material de origem.

Portanto, em comparação ao solo original, as amostras com RCV determinaram a queda dos valores, tanto para C_c quanto para CNU.

Com relação aos Limites de Atterberg, dentre as amostras da mistura Solo-RCV, a única que apresentou limite de liquidez foi a de 50% (50% Solo + 50% RCV), ou seja, apontou valores de umidade correspondentes aos 25 golpes, conforme especificado pelo ensaio de limite de liquidez normatizado NBR 6459/84 (ABNT, 1984a). A referida amostra, de 25 golpes, obteve um valor correspondente de $LL=20,32\%$, diferente dos resultados obtidos para este mesmo tipo de solo sem presença de resíduo, o qual apresentou um valor de $LL=12,89\%$.

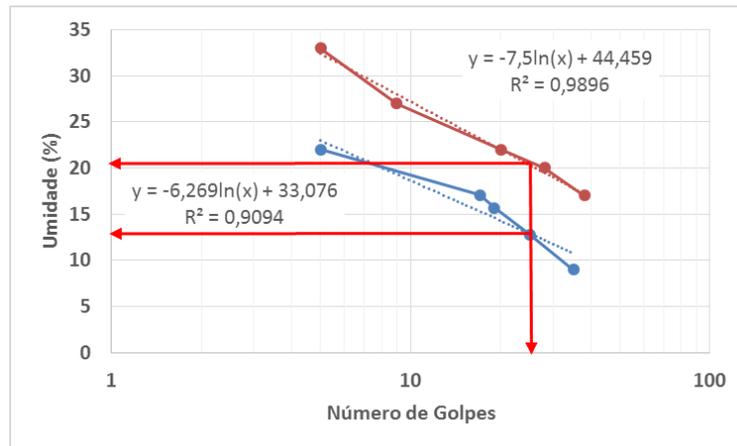
Desta forma, confirma-se um aumento de 57,6% de umidade com a adição de resíduo de cerâmica vermelha. Tal aspecto denota umas das características específicas do resíduo que é a absorção de umidade, como

era esperado, devido à alta porosidade do material cerâmico. Os dados obtidos para limites de liquidez estão demonstrados no Gráfico 2.

Com relação ao limite de plasticidade (LP), especificado no ensaio conforme a normativa DNIT 082/94 (DNIT, 1994), nenhuma das amostras de mistura solo-agregado reciclado apresentou limites de plasticidade. Esse aspecto pode ser justificado devido à característica de grande absorção e alta porosidade do RCV (apesar de este material ser constituído de argila, que é um material plástico). Aliado a esse fator, ainda pode ser acrescentado o fato de que o solo original é um solo predominantemente arenoso, ou seja, não coesivo e não plástico, sendo, então, um fator determinante nessa etapa da avaliação.

A partir dos ensaios de LL e LP, é possível precisar o IC (Índice de Consistência), que é a determinação quantitativa da consistência dos solos, podendo tal característica ser também definida qualitativamente. Com relação ao índice de consistência (IC), as amostras de solo apresentaram valores abaixo de 0,5, inclusive a amostra do solo original, ou seja, de consistência mole.

Essa consistência deve-se, principalmente, ao teor de umidade e a não plasticidade das amostras de solos, os quais interferiram diretamente na obtenção do índice de consistência. Assim, a rigidez de um solo é inversamente proporcional ao teor de umidade, ou seja, com maiores teores de umidade, o solo apresentará uma rigidez mole; fato este comprovado no ensaio de Limites de Liquidez, no qual ocorreu um grande aumento do teor de umidade da amostra de solo com RCV.

Gráfico 2: Valores do ensaio de Limite de Liquidez


Fonte: Próprio autor.

Aliado a esse aspecto e de forma intrínseca, pode-se atribuir a consistência mole também a características que afetam a plasticidade do solo e ao RCV como material seco (em um estado sólido em que não sofre mais retração devido à perda de umidade) oriundo do processo de fabricação.

Análises segundo a classificação SUCS mostram que as amostras com 50% Solo+50%RCV, devido ao fato de apresentarem um índice CNU superior a 6 e C_c entre 1 e 3 e, também, maior porcentagem de areia, classificam-se como SW, ou seja, areia bem graduada com pedregulho. Desta forma, se adequam aos grupos GW e SW que, de acordo com o DNIT (2006), são solos bem graduados que contêm cascalho e areia sem muitos finos (valores menores que 5% para material passante na peneira nº 200).

Já a amostra de Solo natural, a de 60%Solo+40%RCV e de 25%Solo+75%RCV, por apresentarem C_c inferior a 1, uma curva granulométrica mal graduada, recebem classificação para este sistema de SP, ou seja, areia mal graduada com pedregulho. Desta maneira, se adequam aos grupos GP e SP, os quais, conforme DNIT (2006), compreendem solos mal graduados com cascalho, arenosos e sem muitos finos (valores inferiores a 5% de material passante na peneira nº 200).

De acordo com o Sistema de Classificação TRB, as amostras 60%Solo+40%RCV e 25%Solo+75%RCV obtiveram classificação A-2-4, a mesma do

solo natural coletado na Quadra 309 Sul em Palmas-TO. Por meio dessa classificação, os materiais constituintes desta última amostra são considerados pedregulho, areia siltosa ou argilosos, entretanto, pelo fato de apresentar maior porcentagem de areia e também presença de silte, se adequa à classificação de areia siltosa. Diferentemente das amostras 60%Solo+40%RCV e 25%Solo+75%RCV, a amostra 50%Solo+50%RCV obteve classificação A-2-6, ou seja, comporta-se como areia siltosa.

O ensaio de compactação foi realizado seguindo a NBR 7182/86 (ABNT, 1986), com os parâmetros da Energia de Proctor Intermediário. O ISC (Índice de Suporte Califórnia) e expansão seguiram a normativa ME 049/94 (DNER, 1994a). Primeiramente, são apresentados e discutidos os dados específicos das amostras de Solo-RCV e, em seguida, o resumo com os comentários pertinentes aos resultados. De acordo com ensaio de compactação, foram calculados os pontos de máximo da linha de tendência, representando a umidade ótima $w_{ótima}(\%)$ e a massa específica seca máxima $\gamma_{dmáx}$.

Analisando os resultados da curva de compactação, tem-se que há um aumento da massa específica aparente seca de solo em função da incorporação de RCV, exceto para a composição 25%Solo+75%RCV. Nota-se que a melhor composição foi a de 50% de adição de RCV. Além disso, espera-se que o ponto com maior valor de densidade seja aquele que

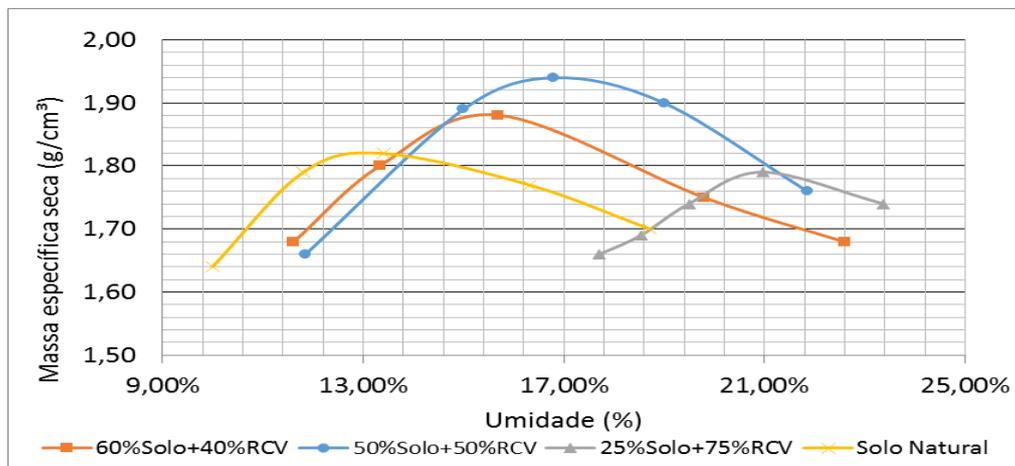
apresente o melhor CBR; portanto, é o ponto de maior interesse geotécnico.

Conforme as curvas típicas de solos brasileiros, segundo Pinto (2006), as classificações referentes aos solos 60%Solo+40%RCV e 50%Solo+50%RCV apresentam resultados semelhantes a um solo arenoso, enquanto que para 25%Solo+75%RCV, um comportamento de areia silto argilosa. Esse fato, observado com

base nas comparações experimentais e na literatura especializada, traz uma ideia de que o resíduo pode apresentar textura com uma classificação geotécnica e comportamento mecânico de outra forma, não necessariamente semelhante a um solo tipicamente brasileiro.

O ensaio de compactação obtido está ilustrado no gráfico abaixo, no qual estão dispostas todas as amostras estudadas.

Gráfico 3: Curva de compactação do Solo – Proctor Intermediário



Fonte: Próprio autor

3.2 Determinação da capacidade de suporte

Para determinar a capacidade de suporte do solo, por meio do ensaio de ISC, foram testados os três corpos de prova mais próximos à máxima densidade obtida no ensaio de Compactação. Os resultados são apresentados no Gráfico 3.2.4, e a Tabela 3 mostra os valores de expansão.

Analisando os resultados e tendo como referências o Manual de Pavimentação (DNIT, 2006) e a NBR 15.115 (ABNT, 2004), as quais especificam valores de ISC empregados em camada de base para um número de repetições do eixo-padrão, durante o período do projeto $N \leq 5 \times 10^6$, serão aceitos materiais com Limite de Liquidez $\leq 25\%$ e índice de plasticidade $\leq 6\%$ e, ainda, $ISC \geq 60\%$. Logo, observa-se, a partir dos dados obtidos no ensaio, que apenas a amostra

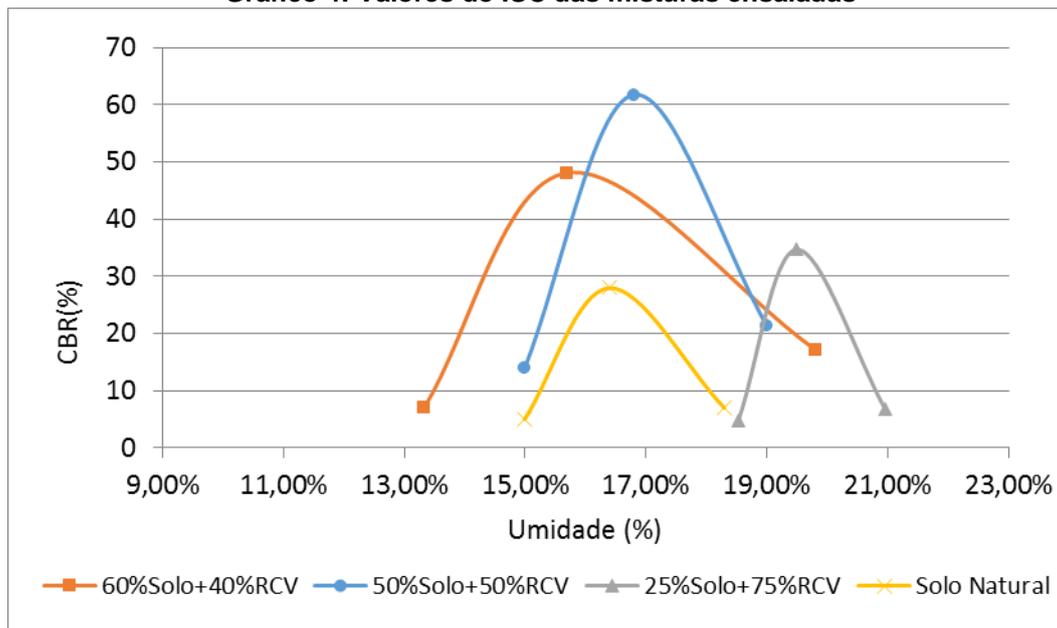
50%Solo+50%RCV atende ao quesito resistência para uso em camada de Base. Os demais materiais podem ser empregados nas outras camadas granulares.

Sob o ponto de vista de estabilidade do solo, analisando também a granulometria dos solos e relacionando-os aos resultados de ISC, pode-se afirmar que a quantidade de finos, ou melhor, o teor de finos apresenta um papel muito importante no quesito resistência do maciço compactado. Assim, quando se tem uma estrutura de solo, com agregados constituintes de teores de finos em quantidades suficientes para o preenchimento de vazios, há um ganho de estabilidade e, por conseguinte, uma redução de permeabilidade, proporcionando uma situação ideal para melhoria da resistência do maciço compactado.

Tabela 3: Valores da expansibilidade das amostras analisadas

Material/Mistura	Expansão (%)
Solo Natural	0,31
60% Solo + 40% RCV	0,22
50% Solo + 50% RCV	0,18
25% Solo + 75% RCV	0,16

Fonte: Próprio autor.

Gráfico 4: Valores do ISC das misturas ensaiadas


Fonte: Próprio Autor.

4 CONCLUSÃO

A partir dos resultados experimentais, bem como do objetivo geral de identificar a possível aplicação de resíduos de cerâmica vermelha (RCV) em camadas de Base de pavimentos de baixo tráfego no município de Palmas-TO, misturado ao solo da própria região, foi possível chegar a algumas conclusões, conforme dispostas a seguir.

Com relação à análise granulométrica, as amostras retratam a modificação da distribuição das partículas quando adicionado RCV, tendo como base a faixa granulométrica estabelecida pelo DNIT (2006). Além disso, quando adicionado RCV ao solo, observou-se tanto queda dos valores de C_c quanto de CNU, sendo a melhor condição para a amostra a que contém 50% de Solo + 50% de RCV.

Ao se analisar a densidade específica dos grãos, percebeu-se que, para a adição de RCV como agregado para amostras, os

valores foram superiores ao solo original. Quando se compara o solo misturado com RCV e o solo original, foi constatado que houve aumento significativo da umidade ótima, conforme análise prévia de pesquisas anteriores que comprovaram a alta absorção de umidade no caso de materiais cerâmicos como característica intrínseca deste material.

Outra característica importante percebida nos ensaios, com relação aos materiais cerâmicos, refere-se à expansibilidade das amostras de solo com RCV, com resultados inferiores a 0,5%, quando se analisa resultados para o ensaio de expansibilidade tradicional. Conforme normativa do DNIT (2006), esta característica se enquadraria no estabelecido para obras de pavimentação, contando ainda com uma resistência do solo favorável para sua aplicação em camada de base de pavimentos de baixo tráfego.

Também importante, quando verificado o ensaio de compactação das amostras de

solos, foi que todas ficaram abaixo da curva de 80% de saturação, o que se deve, principalmente, à característica de absorção do RCV.

Finalmente, analisando todos os dados em conjunto, nota-se que a adição de RCV foi favorável para a configuração 50%Solo+50%RCV, em sua aplicação como camada de Base de pavimentos de baixo tráfego, quando utilizados materiais com características semelhantes ao estudado. Essa afirmação se dá principalmente com relação ao parâmetro usado no dimensionamento de camadas de pavimentos, o ISC, mostrando que o material possui viabilidade técnico-ambiental adequada.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15115/2004**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 6459/84**: Solos – determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984a.

_____. **NBR 7181/84**: Solos – análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984c.

_____. **NBR 7182/86**: Solos – ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986.

BASTOS, R.S.; ULIANA, J.G; CALMON, J.L.; TRISTÃO, F.A.; VIEIRA, G.L; DEGEN, M.K.I. Revisão bibliográfica dos estudos sobre a aplicação da lama do beneficiamento de rochas ornamentais na produção de materiais de construção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 54., 2013, Gramado. **Anais...** São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2013.

BUSTAMANTE, G. M.; BRESSIANI, J. C. A indústria cerâmica brasileira. **Revista Cerâmica Industrial**, v. 5, n. 3, p. 6-12, mai./jun. 2000; Disponível em:

<<http://www.ceramicaindustrial.org.br>>. Acesso em: 30 mar. 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentação**. 3.ed. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, 2006. 274p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. **ME 049/94**: Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas. Rio de Janeiro, RJ, 1994a.

_____. **ME 093/94**: Solos – Determinação do Índice da Densidade Real. Rio de Janeiro, RJ, 1994b.

_____. **ME 082/94**: Solos – Determinação Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, RJ, 1994c.

DIAS, J. F. **Avaliação de resíduos da fabricação de telhas de cerâmicas para seu emprego em camadas de pavimento de baixo custo**. 2004. 251 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Anual da Indústria da Construção**. 2008. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/industria/paic/2008/comentario.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2017.

PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas**. 2006. 3.ed. Oficina Textos. São Paulo. 2006.

REDIVO, I. M. **Utilização de resíduo de cerâmica vermelha em mistura com solo em camadas de pavimentos com baixo volume de tráfego**. 2011.160f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

RIBEIRO, D.; MOURA, L.S. Sustentabilidade: formas de reaproveitar os resíduos da construção civil. **Revista de Ciências Gerenciais**, São Paulo, v.20, n.31, p.41-45, 2016.