



Índice Suporte Califórnia em solos compactados com RCD

Diogo Luiz Guesser¹ | diogo.g@aluno.ifsc.edu.brEdlaine Balbino dos Santos² | edlaine.s@aluno.ifsc.edu.brFábio Krueger da Silva³ | fabio.krueger@ifsc.edu.brMariana Formento dos Santos Toledo Francez⁴ | mariana.fs@ifsc.edu.brRafaela Ganzo⁵ | rafaela.g@aluno.ifsc.edu.br

RESUMO

O estudo avalia o uso de misturas de solo com resíduos de construção e demolição (RCD) em pavimentos, por meio do ensaio de Índice Suporte Califórnia (ISC). Buscando soluções sustentáveis, testaram-se diferentes proporções de solo e RCD de concreto e cerâmica. A mistura com 60% de solo e 40% de RCD cerâmico apresentou melhor desempenho. Já as misturas com RCD de concreto não apresentaram resultados satisfatórios. Verificou-se que o uso controlado de RCD cerâmico é tecnicamente viável e ambientalmente benéfico para o uso na pavimentação.

Palavras-chave: resíduos de construção e demolição; pavimentação; CBR; sustentabilidade.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Índice de Suporte Califórnia ou popularmente conhecido por CBR é um dos ensaios mais utilizados na engenharia geotécnica para avaliação da capacidade de suporte de solos e materiais alternativos aplicados em pavimentação. Criado pelo *California Division of Highways*, o ensaio consiste na medição da resistência à penetração de um pistão padronizado sobre uma amostra compactada, sendo o resultado expresso como uma porcentagem em relação ao resultado de uma brita padrão (DNIT, 2010). Dessa forma, quanto maior o valor do CBR, maior é a resistência oferecida pelo material à penetração e, consequentemente, sua capacidade de suportar esforços oriundos do tráfego de veículos.

No dimensionamento de pavimentos flexíveis, o CBR é um parâmetro essencial, uma vez que orienta a definição das espessuras das camadas estruturais. Solos com baixos valores de CBR demandam camadas mais espessas para garantir desempenho satisfatório, enquanto materiais com valores mais elevados permitem reduzir o consumo de agregados e ligantes, tornando o projeto mais econômico e sustentável (BERNUCCI et al., 2022). Assim, o uso de materiais estabilizados ou de misturas com resíduos pode representar uma alternativa eficiente para o aproveitamento de subleitos de menor qualidade.

Nesse contexto, o emprego de misturas de solo-cimento com resíduos da construção e demolição (RCD), tanto de concreto quanto de blocos cerâmicos, vem ganhando destaque por aliar benefícios técnicos e ambientais. Segundo Angulo e John (2004), os RCD possuem potencial de reaproveitamento como agregados alternativos em diversas aplicações da engenharia civil, inclusive em pavimentação. Além de reduzir a extração de recursos naturais, essa prática contribui para o cumprimento de políticas públicas de gestão de resíduos, como as previstas na Resolução CONAMA nº 307/2002, que estabelece diretrizes para a reutilização e reciclagem de entulhos.

2 METODOLOGIA

A pesquisa foi conduzida para avaliar a influência da incorporação de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) no Índice de Suporte Califórnia (CBR) de misturas solo-resíduo. Foram utilizados dois tipos de RCD, provenientes de fragmentos de concreto e de blocos cerâmicos, nas proporções de 70% solo e 30% RCD e 60% solo e 40% RCD, além do solo natural como referência.

Os materiais foram previamente secos, peneirados e homogeneizados. Em seguida, realizaram-se ensaios de compactação (Proctor normal), a fim de determinar a massa específica seca máxima e a umidade ótima de cada mistura, parâmetros utilizados na moldagem dos corpos de prova para o ensaio de CBR.

O ensaio de CBR, executado conforme a ABNT NBR 9895 (2025), foi aplicado para avaliar a capacidade de suporte dos materiais. Após o período de imersão, foram registradas as leituras de penetração e de expansão, possibilitando a comparação direta entre o solo natural e as misturas com RCD. Os resultados permitiram quantificar os ganhos de resistência e identificar a composição mais eficiente para uso em camadas de pavimentação.

3 RESULTADOS

A análise do comportamento mecânico das misturas de solo-RCD foi focada nos resultados do ensaio de Índice de Suporte Califórnia (CBR) e de expansão, parâmetros essenciais para avaliar o potencial de aplicação do material em camadas de pavimentos. Os valores de peso específico aparente seco máximo e umidade ótima, obtidos nos ensaios de compactação, serviram como base para a moldagem dos corpos de prova e estão apresentados na Tabela 1, juntamente com os resultados de CBR e expansão. Para efeito de comparação, o solo natural apresentou um CBR de 13,0% e uma expansão de 1,43%. A adição de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) promoveu, na maioria dos casos, melhorias significativas na capacidade de

suporte do solo. Na Figura 1 é possível notar o incremento de resistência (pressão exercida) com a respectiva penetração (tempo).

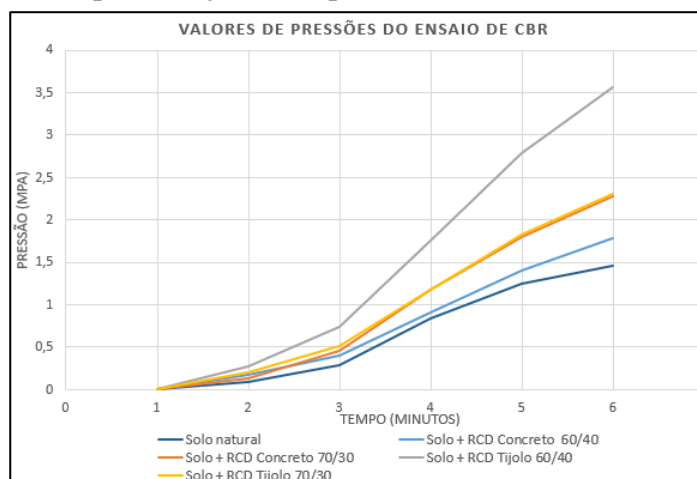


Figura 1 — Valores de pressões do ensaio CBR nas misturas de solo + RCD

A análise da Tabela 1 evidencia que a mistura com 60% de solo e 40% de agregado de bloco cerâmico apresentou o melhor desempenho. Com um valor de CBR de 27% e uma expansão de apenas 1,0%, esta composição atende aos requisitos normativos para utilização como camada de sub-base de pavimentos, que geralmente exigem um CBR mínimo de 20%. Este resultado indica que a interação entre o solo e o agregado cerâmico, neste teor, cria um arranjo estrutural eficiente, capaz de suportar as cargas aplicadas.

Tabela 1 — Resultados obtidos após os ensaios de compactação e CBR.

Dados	Misturas				Solo Natural
	Concreto		Bloco cerâmico		
	70/30	60/40	70/30	60/40	
Massa específica seca máxima (g/cm3)	1,73	1,84	1,59	1,58	1,62
Umidade ótima (%)	17,2	12,4	18	17,8	21,8
CBR (%)	19,5	14,0	18,5	27,0	13,0
Expansão (%)	0,43	1,65	1,1	1,0	1,43

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

As misturas com agregado de concreto apresentaram resultados distintos. A proporção de 70% de solo e 30% de concreto obteve um CBR de 19,5%, valor muito próximo do mínimo exigido, e se destacou por registrar a menor expansão entre todas as amostras (0,43%). Contudo, de forma inesperada, o aumento do teor de concreto

para 40% (mistura 60/40) resultou no pior desempenho entre as misturas, com um CBR de 14,0% e expansão de 1,65%, valores muito similares aos do solo natural. Isso sugere que, para o agregado de concreto, um percentual maior pode não ser benéfico para a resistência, possivelmente devido à forma como as partículas se arranjam sob compactação. Fica claro que a escolha do tipo e do teor de RCD é um fator determinante no sucesso da aplicação. Os resultados confirmam que as misturas de solo com RCD, especialmente as de bloco cerâmico, representam uma alternativa sustentável e tecnicamente viável para a reutilização de resíduos em obras de engenharia rodoviária.

4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstram que a incorporação de resíduos de construção e demolição (RCD) em misturas de solo pode contribuir significativamente para o desempenho mecânico de materiais aplicados em pavimentação. As análises indicaram que a mistura composta por 60% de solo e 40% de agregado de bloco cerâmico apresentou o melhor comportamento, com CBR de 27% e expansão de 1,0%, atendendo plenamente às exigências normativas para camadas de sub-base. Observou-se também que o aumento do teor de concreto nem sempre resulta em maior resistência, reforçando a importância do controle granulométrico e da proporção dos materiais. Além dos benefícios técnicos, o uso de RCD promove ganhos ambientais, reduzindo o descarte inadequado de resíduos e a extração de recursos naturais. Assim, conclui-se que a reutilização controlada de RCD, especialmente os de natureza cerâmica, representa uma alternativa viável, sustentável, alinhada às políticas de gestão ambiental e gera economia no setor da construção civil.

REFERÊNCIAS

ANGULO, S. C.; JOHN, V. M. Reciclagem de resíduos de construção e demolição: avaliação de agregados reciclados para aplicação em pavimentos. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2004.

BERNUCCI et al. 2022. Pavimentação Asfáltica. Disponível em: <https://triunfotransbrasiliana.com.br/wp-content/uploads/2022/07/PA-Completo-2022.pdf>. Acesso em Maio 2025.

CONAMA. 2015. Fonte: RESOLUÇÃO N°307. Disponível em :https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=35. Acesso em Abril 2025.

DNIT, 2010. Manual de Pavimentação. 3. ed. Brasília, Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/manuais-e-normas/manuais/manual-de-pavimentacao> . Acesso em maio 2025.