

Solo estabilizado com resíduo de construção e demolição reciclado para fins de pavimentação.

Matheus Silva de Oliveira

Universidade Católica de Brasília, Brasília, Brasil, matheus.s.o15@gmail.com.

Ivonne Alejandra Gutiérrez Góngora

Universidade Católica de Brasília, Brasília, Brasil, ivonne.gongora@ucb.br.

RESUMO: Com o aumento da população e o alto índice de crescimento da construção civil geram-se cada vez mais resíduos inertes. No Brasil, estes resíduos constituem entre 41% e 70% da massa total de resíduos sólidos urbanos, sendo a indústria da construção civil a maior geradora de toda a sociedade. Estima-se que na construção de um edifício residencial padrão, a cada metro quadrado são gastos em torno de uma tonelada de materiais, demandando grandes quantidades de cimento, areia, brita, etc. Também são gerados resíduos devido as perdas e aos desperdícios neste processo. Na maioria dos casos estes resíduos são depositados clandestinamente, o que ocasiona problemas de saúde pública, poluição visual e ambiental. Por causa de limitações na utilização e/ou custos de materiais de qualidade, tem-se tornado significativo o aumento do emprego de materiais alternativos. Diante disso, o presente trabalho propõe realizar a mistura de resíduos de construção e demolição reciclado (RCD-R) com brita e solo laterítico de Brasília, para avaliar as propriedades mecânicas desta mistura como material de base para pavimentação. Para isso, foi estabelecida a porcentagem de material reciclado adequada a ser adicionada na mistura e compactados corpos de prova em diferentes energias de compactação. Através da realização dos ensaios de cisalhamento direto e Índice de Suporte Califórnia, verificou-se que ocorreu uma mudança no comportamento do solo. Houve uma mudança no Índice de Suporte Califórnia (ISC) em alguns corpos de prova submetidos a diferentes energias de compactação. Acredita-se que esse resultado é devido às reações cimentantes existentes nos resíduos do concreto, as quais se prolongam ao longo do tempo. Destaca-se que a utilização deste tipo de mistura como material de base de pavimentos seria uma solução para reaproveitar um material que tem seu potencial desperdiçado e obter uma nova mistura com melhores características mecânicas que possa substituí-la.

PALAVRAS-CHAVE: RCD, Reaproveitamento, Pavimentação, Mistura, Solo Laterítico.

1 INTRODUÇÃO

Na atualidade, com o constante crescimento das populações e o alto índice de crescimento da construção civil, a cada dia que passa, gera-se mais resíduos de construção e demolição. No Brasil, estes resíduos constituem uma grande parcela da massa total de resíduos sólidos urbanos, tornando o ramo de construção civil o maior gerador de resíduos (PINTO, 1999). O volume de entulho de construção e demolição gerado pode chegar a ser duas vezes maior que o volume de lixo sólido urbano. O Brasil possui

uma legislação de depósito de resíduo, porém, ainda não está em vigor (JONH E AGOPYAN, 2000). Os principais resíduos produzidos são materiais cerâmicos como rochas naturais, concreto, argamassas a base de cimento e cal, tijolos, telhas, cerâmica branca, gesso, entre outros materiais. Na maior parte dos casos estes resíduos são depositados clandestinamente (JONH E AGOPYAN, 2000), ocasionando problemas de saúde pública, obstrução de drenagens, contaminação visual e ambiental.

Em determinadas regiões, o solo presente no local não apresenta características de resistência

ou granulometria adequada para atender a via prevista para o local, necessitando de reforço para satisfazer os parâmetros de projeto.

Às vezes, pode ocorrer que no local em que a via esteja sendo construída não possua material necessário para realizar o ajuste granulométrico, tornando seu uso inviável do ponto de vista econômico (LOVATO, 2004). Por causa de limitações na utilização e/ou custos de materiais de qualidade, há significativa demanda pelo emprego de novos materiais ou técnicas alternativas em algumas obras de engenharia.

Diante dessa realidade, o presente trabalho propõe realizar a mistura do solo laterítico de Brasília com adição de resíduo de construção e demolição reciclado (RCD-R) e brita, para avaliar a viabilidade da utilização desta mistura como material de base para pavimentação.

2 MATERIAIS EMPREGADOS

2.1 Resíduo de Construção e Demolição

Nesse trabalho, utilizou-se resíduo de construção e demolição reciclado (RCD-R) com o propósito de verificar a aplicabilidade junto ao solo para fins de pavimentação. O RCD-R utilizado nesta pesquisa foi proveniente da demolição do Estádio Nacional Mané Garrincha situado na cidade de Brasília. A Figura 1 apresenta a distribuição granulométrica do material utilizado.

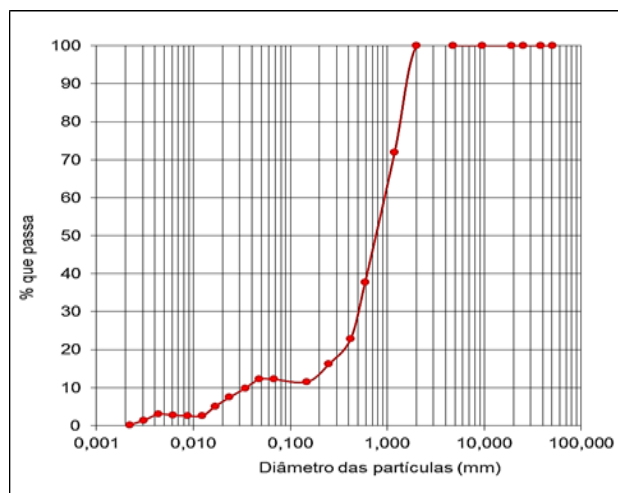


Figura 1. Granulometria do resíduo de construção e demolição reciclado (RCD-R) usado na pesquisa.

O resíduo empregado é predominantemente fino, considerado um material não plástico, como mostra a Figura 2.



Figura 2. Resíduo de Construção e Demolição utilizado.

2.2 Solo Laterítico de Brasília

O solo foi coletado na Universidade Católica de Brasília. Para retirada da amostra, a qual se utilizou para a realização dos ensaios, foram descartados os primeiros trinta centímetros do solo, devido a grande quantidade de matéria orgânica presente. O solo da região é um solo laterítico, apresentando cor avermelhada devido aos minerais que o constitui, principalmente por causa da presença de minério de ferro (NOGAMI E VILLIBOR, 1983) Na Figura 3 é exibido o solo utilizado.



Figura 3. Solo empregado nos ensaios.

A Tabela 1 apresenta as principais

características do solo, obtidas por meios de ensaios específicos realizados em laboratórios.

Tabela 1. Características do solo laterítico de Brasília

Parâmetros analisados	Resultados
Massa específica dos grãos (g/cm^3)	2.61
Limite de Liquidez (%)	48
Limite de Plasticidade (%)	31
Umidade Ótima (%)	27
Coesão (kPa)	45,62
Ângulo de Atrito ($^\circ$)	26

De acordo com a classificação do Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), o solo foi classificado como um silte de baixa compressibilidade (ML). Na Figura 4 é possível observar a curva granulométrica deste solo.

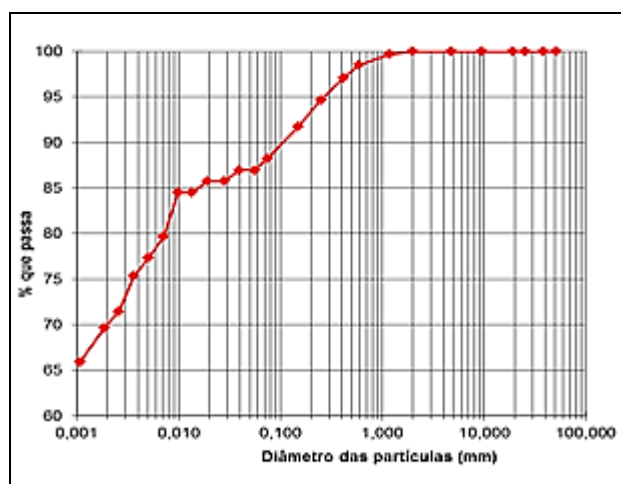


Figura 4. Curva granulométrica do solo.

O solo utilizado possui uma curva granulométrica bem distribuída, facilitando o preenchimento dos espaços vazios na mistura realizada, além de melhorar a interação entre os componentes da mistura e o solo.

2.3 Brita

Para a realização deste trabalho, utilizou-se uma brita produzida a partir da trituração de rochas calcárias, comercialmente conhecida como “brita zero”, devido a sua granulometria, como mostra a Figura 5. Tem-se que este material possui granulometria relativamente uniforme.



Figura 5. Brita empregada nos ensaios.

A granulometria da brita utilizada é mostrada na Figura 6. Esse tipo de material, de origem calcária, é comumente empregado como material de base para a pavimentação no Brasil, não sendo diferente no Distrito Federal, juntamente com outros tipos de materiais.

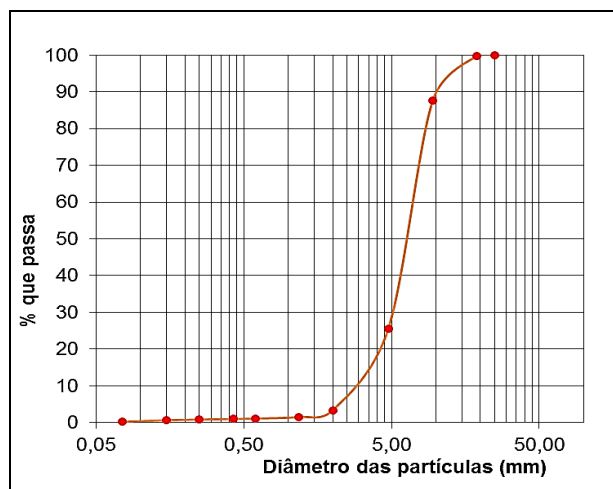


Figura 6. Granulometria da Brita usada nos ensaios.

3 METODOLOGIA

Com o objetivo de obter um material apto para ser utilizado em base de pavimentação foram realizadas uma série de misturas com brita, solo e RCD. Para chegar às porcentagens de mistura ideal, levou-se em consideração as especificações do manual do DNIT 098/2007 sobre a estabilização granulométrica dos solos lateríticos para utilização em base de pavimentos. Ao ajustar as granulometrias dos

três materiais, chegou-se ao percentual, em massa, de 70% de brita, 25% de solo e 5% de RCD-R. A Figura 7 ilustra os materiais utilizados na pesquisa.



Figura 7. Preparação da amostra para molde do corpo de prova do cisalhamento.

3.1 Índice de Suporte Califórnia (ISC)

Realizou-se, primeiro, o ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC) nas três energias de compactação, normal, intermediária e modificada, apenas do solo, com o intuito de obter uma estimativa do comportamento mecânico do solo da região.

Posteriormente, para comparação, foram realizados dois tipos de amostra (uma com adição de RCD-R e outra sem) com o objetivo de estabelecer o efeito que o RCD-R ocasiona ao ser utilizado na camada de base de pavimentação. Todas as amostras foram compactadas na umidade ótima (8,5%, em massa)

Realizou-se o ensaio ISC para ambas as amostras, com e sem adição de RCD-R, aos 3 dias de imersão em água. Procedeu-se assim, com o objetivo de determinar a influência do RCD-R na composição.

Posteriormente, realizou-se o ensaio de ISC para diferentes tempos de imersão (3, 14 e 56 dias), desta vez apenas para a amostra contendo RCD-R, com o propósito de aferir se o cimento presente nos resíduos de demolição contribui ao longo do tempo para um incremento na resistência da mistura (Figura 8).



Figura 8. Corpos de provas submersos em água no período de 56 dias.

3.2 Cisalhamento Direto

Executou-se ensaios de cisalhamento para avaliar os parâmetros de resistência das misturas. Para isso, avaliou-se dois tipos de amostra, uma contendo solo e RCD-R (amostra1) e outra apenas solo (amostra 2), porém, ambas sem brita, devido a maior granulometria da brita e a utilização de um molde de pequenas dimensões (5 cm x 5 cm x 2 cm).

Como no ensaio de cisalhamento direto não se utilizou brita e com o intuito de manter as mesmas proporções, chegou-se à seguinte relação, em massa: 83,3% de solo e 16,7% de RCD-R, para a amostra 1; 100% de solo na amostra 2, já que nessa amostra não há adição. Todas as amostras foram compactadas na energia modificada e na umidade ótima (27%, em massa)

Para ambas as amostras, executou-se o ensaio nas seguintes tensões normais: 200 kPa, 400 kPa, 600 kPa e 800 kPa.

Cada corpo de prova, em cada uma das amostras, permaneceu adensando por 24 horas interrompidas. No cisalhamento, utilizou-se velocidade constante de 0,02 mm/min. Na figura 9 é mostrada a máquina de cisalhamento usada nos ensaios.



Figura 9. Ensaio de cisalhamento direto.

4 RESULTADOS

4.1 Índice de Suporte Califórnia

O resultado do ensaio de ISC do solo sem adição de resíduo realizado nos três tipos de energia é mostrado na Figura 10. O ensaio foi executado com o tempo de imersão de três dias.

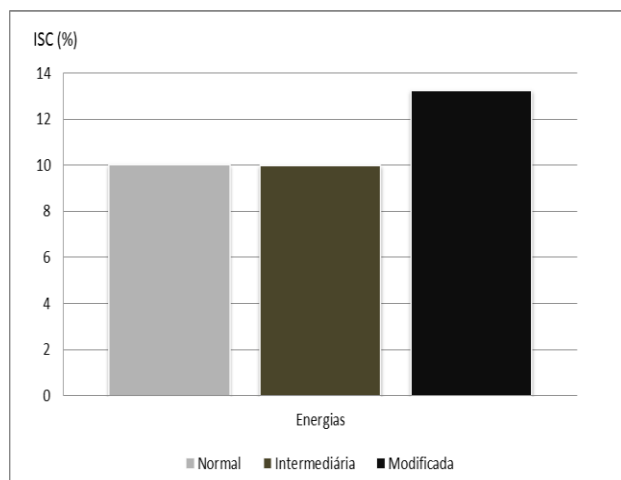


Figura 10. ISC do solo Laterítico sem mistura.

Conforme pode-se observar, o corpo de prova moldado na energia modificada apresentou um maior ISC, em comparação com os demais. Isso já era de se esperar, tendo em vista que a energia de compactação é maior.

A Tabela 2 apresenta os resultados do ISC para a amostra contendo solo e brita, sem adição de RCD-R. Já a Tabela 3 apresenta o ISC para o solo com adição de RCD e brita.

Tabela 2. ISC do solo laterítico com brita

Energia	ISC (%)
Normal	15,995
Intermediária	19,690
Modificada	83,512

Tabela 3. ISC do solo laterítico com RCD + brita

Energia	ISC (%)
Normal	13,409
Intermediária	36,777
Modificada	64,953

Nota-se que a mistura solo, brita e RCD-R teve um aumento na resistência quando comparado com a mistura solo e brita. O maior acréscimo de resistência foi observado no corpo de prova compactado na energia intermediária, onde um incremento de 14,08% no mesmo período em que a amostra ficou submersa em água, como ilustra a Figura 11.

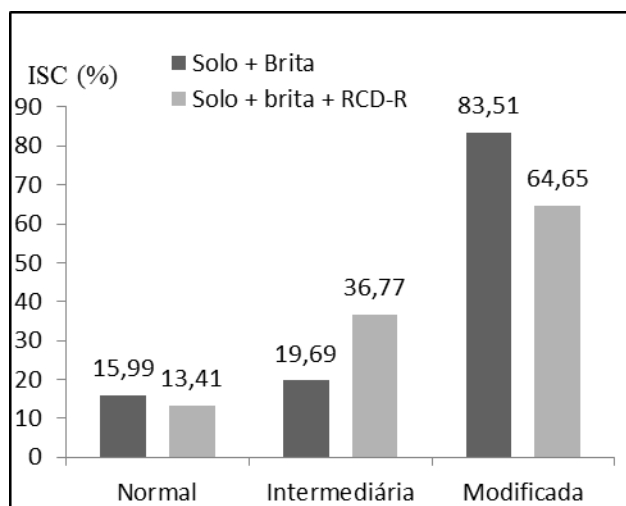


Figura 11. Resultado do ensaio de Índice de Suporte alifórnia.

Após verificar os resultados, notou-se que ocorreu um erro na energia modificada em dois corpos de prova, onde esperava-se que a mistura com RCD proporcionaria um aumento da resistência.

Conforme já mencionado, com o propósito de avaliar o comportamento do RCD-R ao longo do tempo, obteve-se os seguintes resultados, para 3, 14 e 56 dias, como mostra na Figura 12

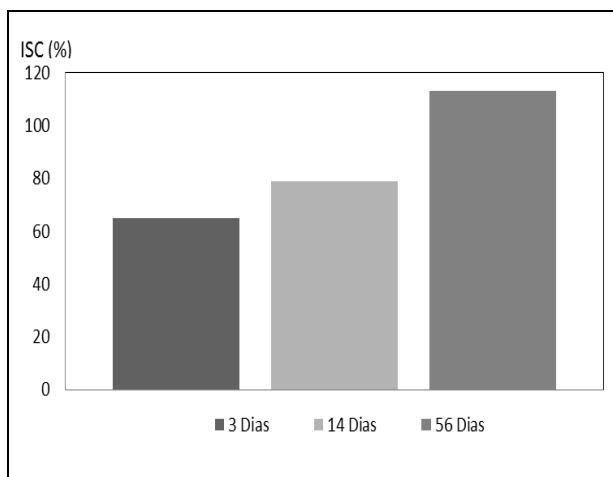


Figura 12. ISC Médio da mistura nos dias em cura.

Conforme pode-se observar, houve um aumento do ISC ao longo do tempo, indicando que ainda ocorre reações cimentantes.

Nesses períodos, também foram analisadas as expansões nos corpos de prova, contendo a mistura de RCD-R, solo e brita. Os valores da expansão podem ser observados da Tabela 4.

Tabela 4. Média das expansões das amostras submersas em água.

Dias	Expansão (mm)
3	0,023
14	0,030
56	0.040

Conforme constatado, não houve uma expansão significativa. Constatando que a mistura pode ser utilizada, sem grande deformação, em base de pavimentação.

4.2 Cisalhamento direto

Na Figura 13 é indicada a coesão encontrada no ensaio em ambas as amostras, com e sem adição de RDC. Constatou-se que a coesão da mistura foi menor ao compará-la com o solo em seu estado natural. Isso deve-se à presença do resíduo de construção e demolição, que por ser um material mais granular que o solo, implica em uma redução da coesão.

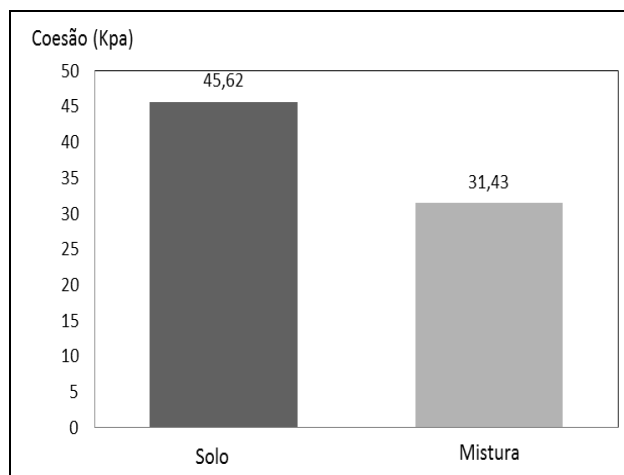


Figura 13. Coesões obtidas nos ensaios de cisalhamento.

Já na Figura 14 é apresentada a comparação do ângulo de atrito entre as mesmas amostras, obtidos no ensaio de cisalhamento. Notou-se que o ângulo de atrito na mistura aumentou. Isso pode ser em consequência de uma maior interação entre os grãos de solo e a presença de um material mais grosseiro com partículas mais angulosas (RCD-R).

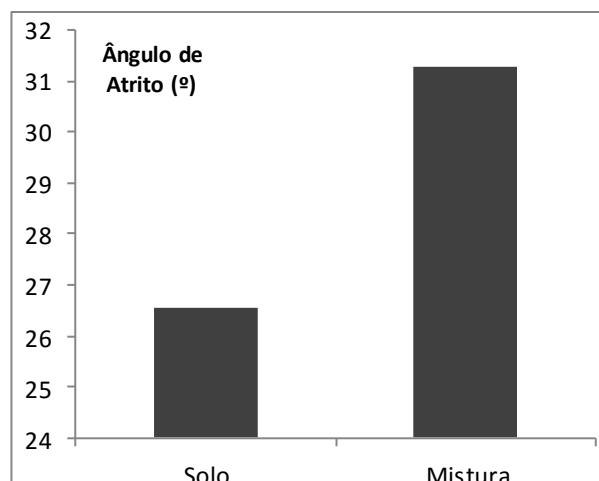


Figura 14. Comparação do ângulo de atrito em graus.

5 CONCLUSÕES

Nessa pesquisa, analisou-se a utilização de resíduo de construção e demolição em uma camada de base para pavimentação. De acordo com os resultados obtidos é possível afirmar que os resíduos de construção e demolição apresentaram resultados satisfatórios, possuindo grande potencial de aproveitamento em obras de

pavimentação, substituindo em partes os materiais tradicionais empregados.

Ao comparar a mistura contendo RCD-R e solo com a amostra sem RCD-R, constata-se que enquanto o ângulo de atrito aumenta aproximadamente 10 graus, a coesão diminui cerca de 14 kPa. Aumentando-se o ângulo de atrito, há uma melhora na resistência ao cisalhamento apesar de uma regressão da coesão.

Outro ponto positivo é que o resíduo de construção não apresentou significativa expansão em contato com água, tornando o seu uso interessante pois, não apresentará grandes deformações na camada de base e, consequentemente, no pavimento.

A utilização de RCD-R é uma ótima opção pela parte ecológica, tendo em vista que reaproveitaria um material que seria depositado de forma inadequada no meio ambiente. Além disso, há uma tímida melhora no comportamento mecânico da camada de base ao se adicionar o RCD-R.

É promissor a utilização de resíduos de construção em camadas de base de pavimentação, visto que há um aumento da resistência à compressão, conforme observado nos ensaios de ISC. Além disso, a sua utilização contribuirá para reduzir a quantidade de resíduos de construção dispostos na natureza de forma irregular e simultaneamente proporcionará uma economia na utilização de matéria prima.

Ressalta-se que pesquisas adicionais são necessárias para consolidar a viabilidade da utilização desse material em camada de base.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos à Universidade Católica de Brasília pelo apoio financeiro, além dos recursos humanos e materiais, tais como: técnicos de laboratório, estagiários e espaço físico.

REFERÊNCIAS

DNIT (2007). Norma 098/2007 – ES: *Pavimentação* –

Base Estabilizada Granulometricamente com Utilização de Solo Laterítico – Especificação de Serviço. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. 7 p.

John, V. M.; Agopyan, V. (2000). *Reciclagem de resíduos da construção*. Seminário Reciclagem de Resíduos Sólidos Domésticos.

Lovato, R. S. (2004). *Estudo do comportamento mecânico de um solo laterítico estabilizado com cal, aplicado à pavimentação*.

Nogami, J.S. e Villibor, D.F. (1983). *Os solos tropicais lateríticos e saprolítico e a pavimentação*. In: 18º Reunião anual de Pavimentação, Porto Alegre, RS, Brasil, 21 p.

Pinto, T. P. (1999). *Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana*. São Paulo. Tese (doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 189p.