

Melhoria de Solo Laterítico de Brasília Com Adição da Fração Fina de Resíduo de Construção e Demolição Reciclado

Leila Cristina de Camargos Martins

Centro Universitário de Brasília, Brasília, Brasil, leeilamartins@gmail.com

Ivonne Alejandra Gutiérrez Góngora

Centro Universitário de Brasília, Brasília, Brasil, ivoncito25@gmail.com

RESUMO: Com o consumo contínuo de insumos escassos da construção civil, bem como seus resíduos produzidos em escalas bruscas ou os danos que trazem ao ambiente e a população, principalmente por seu impacto social e econômico, cria-se a necessidade da implementação de novas técnicas que possam ser ecologicamente corretas, economicamente viáveis e qualitativamente vantajosas. Assim, apresenta-se nessa pesquisa a utilização do resíduo sólido de construção civil e demolição reciclado (RCD-R) em sua fração fina e por consequência britado, obtido a partir dos processos construtivos e mais especificamente de demolição. Este, utilizado em teor de 15% para compor a mistura solo-RCD-R possibilita que a mistura devido a presença de componentes cimentícios desenvolva ganhos de resistência e atribua ao solo maiores expectativas de uso, isso porque, em solos lateríticos ou de baixa capacidade de suporte há necessidade de melhorias em suas características geotécnicas e geomecânicas para que possam estar aptos a execução das construções de diversas tipologias. Caracterizado o solo e estabelecidas as misturas, foram considerados os tempos de cura em câmara úmida de 0 dias, 7 dias e 28 dias para os corpos de prova devidamente moldados e compactados. Ao término dos períodos estabelecidos foi feita a verificação por meio de ensaios laboratoriais como o cisalhamento direto e comparados os parâmetros de resistência obtidos (coesão e ângulo de atrito) com referência ao solo natural já que estes são os principais elementos capazes de alterar a resistividade do solo, atestando de fato o ganho de resistência. Diante disso, é justificável a viabilidade da utilização desse material para melhoria do solo incluindo-se, portanto, os benefícios aos agentes afetados pelo seu uso e descarte indevido ou desperdiçado.

PALAVRAS-CHAVE: Solo laterítico, Características geomecânicas, Resíduo de construção e demolição reciclado (RCD-R), Reciclagem.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil encontra-se em uma busca constante pelo desenvolvimento de novas tecnologias capazes de aperfeiçoar os processos construtivos e otimizar seus resultados. Um problema recorrente nesta área é a necessidade de melhorar as características do solo e principalmente sua resistência e comportamento mecânico em construções diversas, necessárias devido ao crescimento dos centros urbanos e outros fatores especiais. É

desta maneira que as grandes e pequenas cidades passam a produzir uma grande quantidade de resíduos e dentre esses, os classificados pelo CONAMA como resíduo de construção civil e resíduo de demolição (RCD), ambos com partículas cimentantes capazes de atribuir melhorias ao solo. Estes representam ainda uma boa parcela dos resíduos sólidos produzidos, gerando assim a preocupação com o descarte apropriado ou até mesmo a reciclagem. Como geralmente trata-se de grandes volumes a situação torna-se ainda mais

complexa devido a degradação ambiental, englobando diretamente a sustentabilidade e de certa forma os aspectos e danos socioeconômicos (Gómez, 2011).

Uma solução viável para o aproveitamento dos resíduos encontra-se, portanto no seu uso em porcentagens adequadas misturadas ao solo. Isso reduziria os impactos produzidos por ele e possivelmente geraria melhoria das propriedades geomecânicas, proporcionando ao solo maior capacidade de suporte.

Levando em consideração todos os aspectos e possibilidades citados acima, a pesquisa se desenvolveu em várias etapas, a primeira delas foi a obtenção do solo natural, este retirado das quadras 703/704 da Asa Norte em Brasília-DF. Com isso foi possível dar início aos ensaios de caracterização e resistência do solo que posteriormente foi comparado com o solo misto. Em outra etapa, foram realizados os ensaios do resíduo, buscando caracteriza-lo separadamente e definir o teor do material ideal que deve ser misturado ao solo natural para atingir os objetivos propostos. Posteriormente foram feitas as misturas e o material permaneceu por tempos distintos adquirindo resistência para serem cisalhados e comparados.

2 MATERIAIS UTILIZADOS

Foram empregadas na pesquisa os resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) e solo laterítico. Esses materiais são parte da mistura que visa o melhoramento dos parâmetros geomecânicos do solo e consequentemente de sua resistência, bem como detalhar as possíveis causas ou interferências no seu comportamento.

2.1 Resíduo de Construção e Demolição Reciclado (RCD-R)

O Resíduo de construção e demolição reciclado (RCD-R) utilizado é em sua maior parte composto por argamassas, concretos, tijolos e cerâmicas. Obtidos por meio do procedimento de britagem e oriundos do processo de demolição de parte da estrutura do Estádio Nacional de Brasília (Mané Garrincha). Na

Figura 1, é apresentado o RCD-R usado no trabalho. Já a Figura 2 mostra sua curva de distribuição granulométrica, na qual percebe-se que o material possui alto teor de finos.



Figura 1. Resíduo de Construção e Demolição Usado.

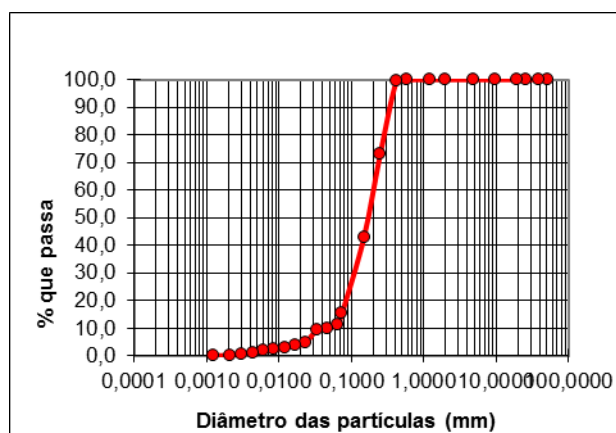


Figura 2. Curva Granulométrica do RCD-R.

Na tabela a seguir, apresentam-se algumas características do material utilizado.

Tabela 1. Características Geotécnicas do RCD-R.

Propriedades	Valor
Densidade real dos grãos (GS)	2,76
Umidade (%)	1,92
Plasticidade	NP

2.2 Solo Laterítico

O solo laterítico, típico de locais com clima quente e regime de chuvas moderadas e intensas (Nogami, 1995) como ocorre no Distrito Federal apresenta-se de acordo com a

classificação AASHTO como A-7-5 argiloso, ou seja, está disposto entre regular e ruim ou ainda pela classificação MCT, indicado como areia laterítica ou arenoso laterítico (LA'-LG'). É composto de 1,1% de pedregulhos, 39,7% de areias, 19,8% de silte e 39,4% de argila. Na Figura 3 é possível observar as características visuais do solo e na Figura 4 está demonstrada sua distribuição granulométrica.



Figura 3. Solo Laterítico Utilizado.

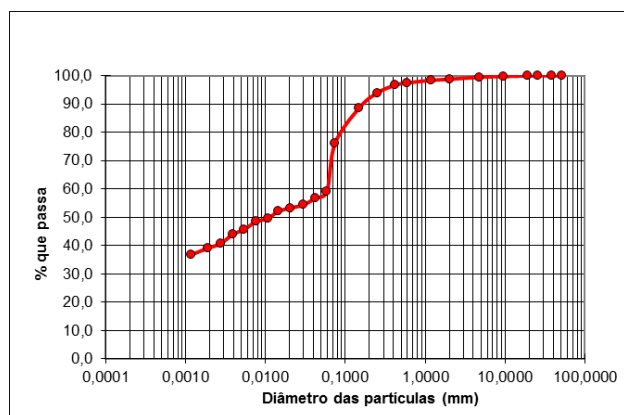


Figura 4. Curva Granulométrica do Solo Natural.

Na Tabela 2 estão representados alguns dos parâmetros geotécnicos encontrados através da caracterização do solo.

Tabela 2. Características Geotécnicas Atribuídas ao Solo.

Propriedades	Valor
Densidade real dos grãos (GS)	2,71
Umidade ótima (%)	22
Limite de liquidez	43
Limite de plasticidade	31

A compactação é um procedimento mecânico realizado nos solos, visando atribuir a

ele devido a acomodação das partículas e pela expulsão do ar, redução de volume e índice de vazios, maior resistência. Nesse processo é possível também obter a umidade ótima do solo, que indica sua melhor condição e é de fundamental importância para sua utilização, além do peso específico seco. Abaixo, na Figura 5 e na tabela 3 estão representadas as três curvas de compactação realizadas nas energias normal, intermediária e modificada, das quais a modificada foi utilizada como padrão para os comparativos entre solo natural e a mistura solo-RCD-R assumindo-se, portanto, a umidade ótima de 21,65%.

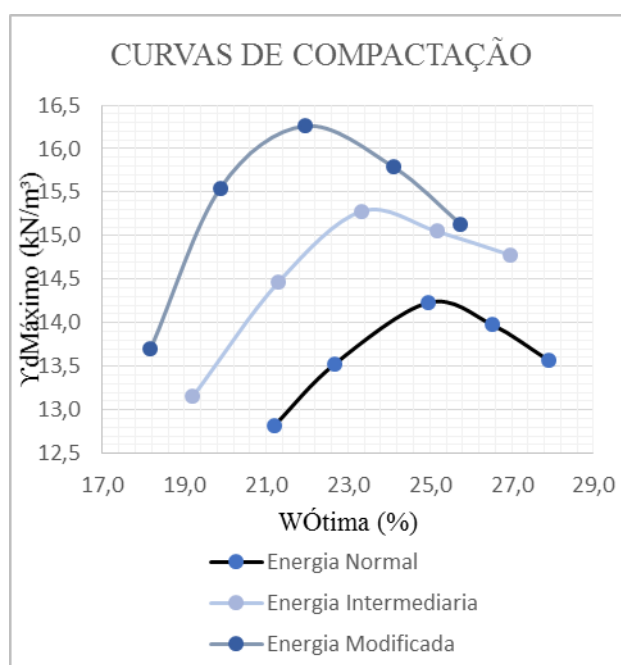


Figura 5. Curvas de Compactação.

Tabela 3. Resumo da Compactação do Solo Natural.

Energia de compactação	Umidade ótima (W %)	Peso específico seco máx. (kN/m³)
Normal	24,96	14,23
Intermediária	33,33	15,28
Modificada	21,65	16,26

3 METODOLOGIA

Baseado em diversas pesquisas realizadas anteriormente e principalmente no descrito por Viana, et al.(2009) e Angulo, et al.(2011) em suas porcentagens ideais, estabeleceu-se como teor ideal de mistura para este caso 15% de

RCD-R e 85% de solo, também foram estipulados três tempos de cura sendo estes de 0 dias, 7 dias e 28 dias nos quais as amostras de solo-resíduo permanecem em câmara úmida em razão da ação das partículas cimentícias e reações pozolânicas presentes no material. Assim, os corpos de prova precisam de certos intervalos de tempo nos quais irão desenvolver sua capacidade de suporte, semelhante a maneira como o concreto desenvolve durante sua cura.

Em seguida, realizou-se a compactação do solo natural e em 4 corpos de prova com energia modificada que posteriormente foram cisalhados em estado saturado com cargas de 800kpa, 600kpa, 400kpa e 200kpa de forma lenta e adensada com velocidade de 0,029mm/min. Isso com propósito de utiliza-los como comparativo de resistências após a realização dos mesmos ensaios e tempos de cura, porém diante da adição de resíduo.

Novamente foi realizado o processo de compactação de 4 corpos de provas em energia modificada para cada respectivo tempo de cura, considerando para cada um dos corpos de prova uma tensão normal como as citadas anteriormente. Assim, são geradas três envoltórias de Mohr-Coulomb, cada uma realizada em seus respectivos períodos e respeitando os teores da mistura.

Para finalizar e obter os comparativos e resultados conforme a Equação 1 demonstrada abaixo e o método de Coulomb, realizou-se nos 12 corpos de prova compostos de solo-RCD-R o ensaio de cisalhamento direto seguindo os mesmos critérios utilizados ao cisalhar o solo natural. Nesta etapa, embora a comparação seja feita em relação ao inferior estado do solo, isto é, saturado, o cisalhamento ocorre com a amostra em estado insaturado, já que a presença de água exercendo interação direta com o solo altera suas propriedades devido as mudanças eletrofísicas, podendo deixar imperceptível a observação do ganho de resistência.

$$\tau = c' + \sigma \times \tan \Phi \quad (1)$$

4 RESULTADOS

Os resultados obtidos por meio do ensaio de cisalhamento direto representam a análise de resistência do solo natural saturado e do compósito solo-RCD-R. Logo serão contrapostos e verificados os ganhos na capacidade de suporte do solo e em suas características.

4.1 Solo Natural

A partir do ensaio de cisalhamento para o solo natural nas respectivas cargas obtém-se a envoltória de Mohr-Coulomb como segue na Figura 6 e são fornecidos o valores de coesão igual a 14,78kpa, ângulo de atrito 31,40° e resistência considerando a maior tensão normal adotada de 495,50kpa

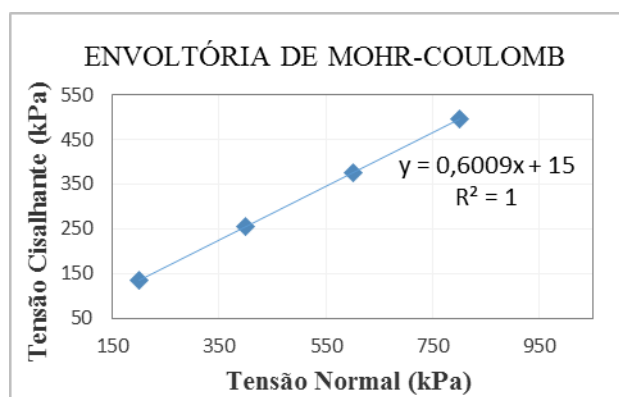


Figura 6. Envoltória de Mohr-Coulomb Para Solo em Estado Natural.

4.2 Solo Com Adição de RCD-R

Para as misturas com RCD-R foram realizadas basicamente as mesmas etapas no ensaio de cisalhamento, isso porque para que a comparação possa ser válida é necessário que os procedimentos e cargas se mantenham padrão. Entretanto, devido aos tempos de cura, cada grupo de corpos de prova irá apresentar suas particularidades ao serem moldados, montados, adensados e cisalhados. Com isso, é possível notar a mudança dos valores para os ângulos de atrito e para as coesões, utilizados ao estudar os resultados. Na Tabela 4 seguem representados os respectivos valores.

Tabela 4. Representações de Coesão e Ângulo de Atrito.

Amostra	Ângulo de atrito (°)	Coesão (kpa)
Natural saturado	31,40	14,78
0 dias	36,35	52,70
7 dias	33,93	66,06
28 dias	33,93	112,28

4.2.1 Cura de 0 Dias

Apresenta-se nessa etapa os parâmetros que se comportam conforme o proposto, isso é, ocorreu o aumento do ângulo de atrito que chegou no maior valor dentre as amostras e aumento da coesão em relação ao solo de estado natural saturado, sendo assim a resistência também se eleva.

4.2.2 Cura de 7 Dias

Diante do que foi proposto, os corpos de prova de 7 dias passaram pelos mesmos procedimentos dos corpos de prova de 0 dias, entretanto, neste caso apresentando modificações dadas pela redução do ângulo de atrito em relação a amostra de 0 dias, mas com aumento da coesão e atrito em relação ao solo. Neste caso a resistência é inferior ao tempo de 0 dias, porém, superior ao solo natural.

4.2.3 Cura de 28 Dias

Dados os tempos de 0 e 7 dias, os corpos de prova com cura por 28 dias assumem a mesma tendência de comportamento com o aumento da coesão. Nota-se que em relação a amostra de 7 dias o ângulo de atrito permanece inalterado. Como o ângulo de atrito, bem como a coesão estão diretamente ligados a tensão cisalhante e a resistência do material por meio de cálculos e pelo método de Coulomb, segue como generalidade que quanto maiores os respectivos valores, maior a resistência, portanto para este tempo de cura foi obtido o maior valor de resistência. A Figura 7 representa a envoltória de Mohr-Coulomb para os respectivos tempos de cura, podendo assim serem comparadas.

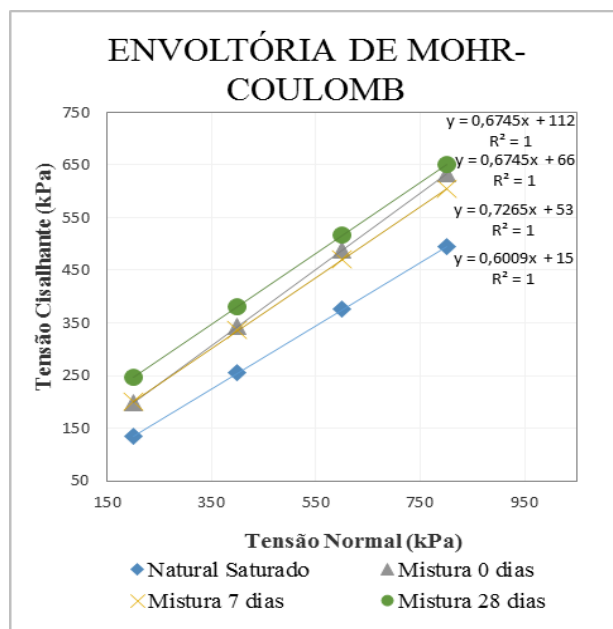


Figura 7. Envoltória de Mohr-Coulomb Solo-RCD-R.

Abaixo, nas Figuras 8, 9 e 10 estão representados os valores e a devida comparação dos ângulos de atrito, coesões e resistências em função da maior tensão normal para o solo natural em estado saturado, mistura com cura de 0 dias, 7 dias e 28 dias.

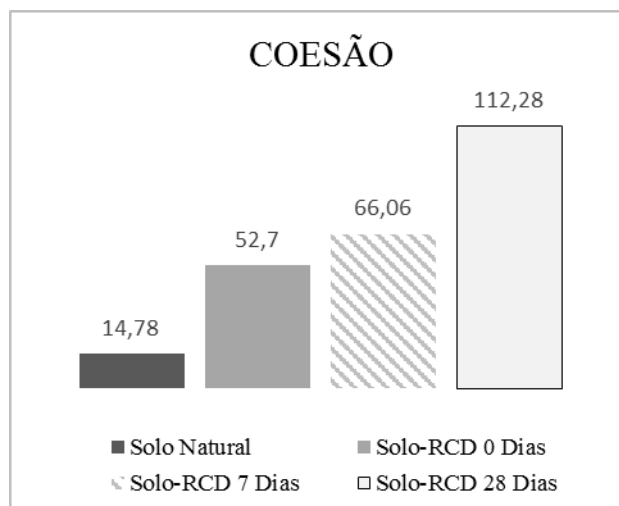


Figura 8. Comparativo de Coesão Entre Solo Natural e Mistura.

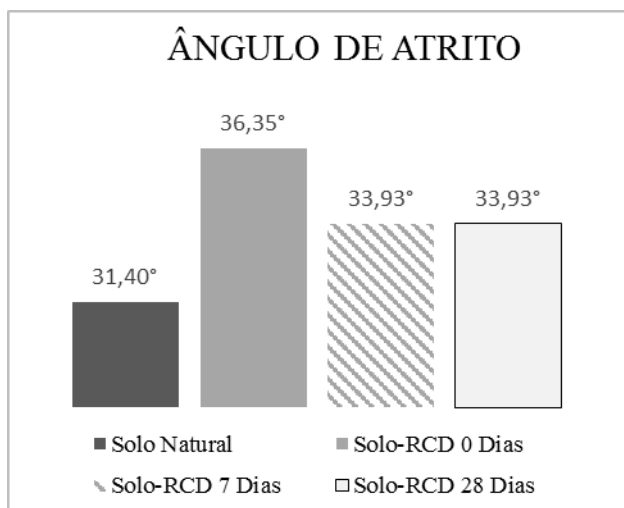


Figura 9. Comparativo do Ângulo de Atrito Entre Solo Natural e Mistura.

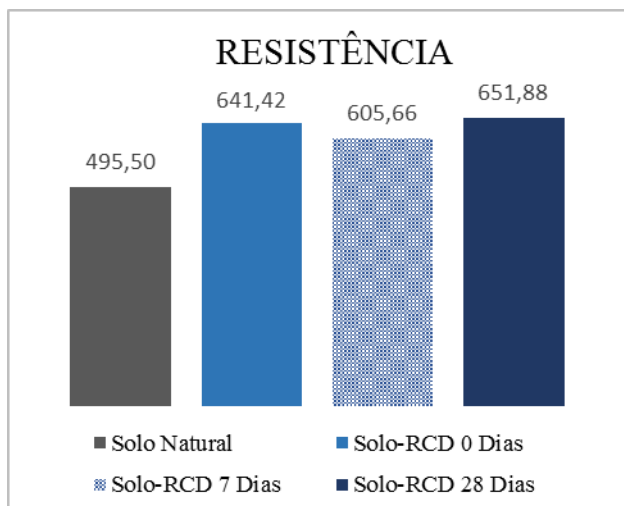


Figura 10. Comparativo das Resistências Entre Solo Natural e Mistura Para a Maior Tensão Normal em kpa.

5 CONCLUSÕES

O presente estudo, que se refere a adição de fração fina do RCD-R no solo atribuiu a este como era esperado, ganhos de resistência em proporções diferentes. É possível dizer que desta maneira o material que antes possuía descarte inadequado e causava grandes transtornos a sociedade e ao meio ambiente pode se tornar a solução para melhoria de alguns solos estando apto para alcançar novas funcionalidades. Também é possível notar que as condições técnicas são favoráveis ao uso deste material devido ao baixo custo e des de

que haja um interesse conjunto para a implementação.

De acordo com os resultados percebe-se que em todos os casos a coesão do solo que varia de acordo com o tempo de cura, aumenta. Para o ângulo de atrito é possível ver um aumento inicial maior e depois uma estabilização. Considerando-se a linearidade de aumento dos parâmetros, o período de 28 dias apresenta o maior valor de resistência, este é um efeito provavelmente gerado pelas partículas cimentantes e pozolânicas presentes na composição do resíduo. Quando o material pozolânico é adicionado ao concreto com Cimento Portland ou argamassas são adquiridas vantagens como menor calor de hidratação pela troca de reações exotérmicas, maior trabalhabilidade do material, elevação da durabilidade e resistência à fissuração devido à redução da reação álcali-agregado e maior impermeabilidade.

Na reutilização de concreto e argamassas britados constituídos com pozolanas, algumas dessas características e vantagens são mantidas proporcionando grandes vantagens para os novos materiais que nesse caso é a mistura, além de favorecer a sociedade e o meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

Agradecidas pelo suporte à pesquisa descrita nesse trabalho ao Centro Universitário de Brasília (UNICEUB) e Conselho Nacional para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

- American Association of State Highway and Transportation Officials - AASHTO (1973). *Sistema SUCS*.
- Angulo, S. C., Teixeira, C. E., Castro, A. L., Nogueira, T. P. (2011). Resíduos de construção e demolição: avaliação de métodos de quantificação. Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Conselho Nacional Do Meio Ambiente - CONAMA (2005). *Resolução nº 357/2005*. DOU nº 053/2005.
- Gómez Jiménez, A. M. (2011). *Estudo experimental de*

um agregado reciclado de resíduo de construção e demolição (RCD) para utilização em pavimentação.
Universidade de Brasília, Brasília.

Nogami, J.S. E Villibor, D.F. (1994). Identificação expedita dos grupos da classificação MCT para solos tropicais. X Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Foz do Iguaçu, Paraná.

Nogami, J.S. E Villibor, D.F. (1995). *Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos*. DMC/FURG, São Paulo, p.18-21, Vol. U.

Viana H. M., et al. (2009). *Utilização de agregados resíduos sólidos da construção civil para pavimentação em São Luís – MA*. Departamento de Expressões Gráficas e Transportes, Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, Maranhão.