

# Fatores de redução de resistência de geotêxtil tecido devido a danos mecânicos causados por resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R)

**Silva, E. M.**

Escola Politécnica de Pernambuco  
Universidade de Pernambuco  
50.720-001 - Recife, Brasil  
edvan70@hotmail.com

**Santos, E. C. G. 2**

Escola Politécnica de Pernambuco  
Universidade de Pernambuco  
50.720-001 - Recife, Brasil

## **Resumo**

*O uso de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em obras com geossintéticos apresenta-se como uma interessante alternativa do ponto de vista econômico-ambiental. No entanto, para viabilizar esta proposta, um fator primordial deve ser investigado: os danos mecânicos que os RCD-R podem causar nos geossintéticos durante os processos de lançamento e compactação. Diante disso, esta pesquisa buscou avaliar experimentalmente os danos mecânicos em geotêxtil tecido devido a danos mecânicos causados por RCD-R. Com isso, espera-se obter parâmetros de fatores de redução de resistência à tração, que possam subsidiar a elaboração de projetos que contemplem o uso de RCD-R em obras de terra reforçadas com geossintéticos. Os resultados revelaram os RCD-R apresentam excelentes propriedades geotécnicas, com uma baixa variabilidade. Observou-se também que os danos provocados pelo lançamento do RCD-R foram influenciados pelo tipo de geotêxtil tecido e a altura de lançamento.*

## **Abstract**

*The use of construction and demolition waste (RCDW) in geosynthetics works appears as an interesting economic environmental perspective. However, in order to allow this proposal, a key-point must be investigated: the mechanical damages that RCDW may cause in geosynthetics due to the displacement and compaction of these residues. In this scenario, this study evaluated experimentally the mechanical damage in non-woven geotextiles due to mechanical damage caused by RCDW. This may allow calculate the strength reduction factor needed to design new projects considering the use of RCDW in geosynthetic reinforced soil walls. The results revealed that RCDW has excellent geotechnical properties with low variability. It was also observed that amount of damages caused by RCDW on geosynthetics specimens was affected by geosynthetics types and RCDW drop height.*

## 1 Introdução

O aumento do número de indústrias e da população nos centros urbanos gerou um incremento na quantidade e na diversidade de resíduos – muitos deles poluentes – descartados na natureza. Como um resultado disso, pode-se destacar o comprometimento da qualidade de vida em vários ambientes. Nesse cenário, surgiu, então, a necessidade de consolidar novos modelos de desenvolvimento que propiciem a sustentabilidade através de alternativas de utilização dos recursos existentes, orientadas por uma racionalidade ambiental.

Neste contexto, a indústria da construção civil (ICC) é reconhecida como a responsável por consideráveis impactos ambientais, sociais e econômicos. Diante disso, faz-se necessária uma política abrangente para o correto destino dos resíduos gerados, os resíduos de construção e demolição (RCD). Essa significativa geração de RCD pode ser constatado por meio da análise da participação dos RCD nos resíduos sólidos urbanos (RSU) nas cidades brasileiras, segundo o IBGE 51% à 70% do RSU é composto de RCD.

Vislumbrando esse problema, o conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), publicou em 2002, a resolução 307°, que obrigam os geradores dos resíduos e as prefeituras a tomarem medidas na redução e reciclagem do RCD. Segundo Gusmão (2008), cerca de 91% desse resíduos tem potencial reciclável sob a forma de agregado.

Diante desta problemática, a solução mais viável para os RCD é a sua reutilização ou reciclagem. Entre as diversas alternativas, destacam-se as propostas de utilização de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em obras de solo reforçado ou pavimentação, uma vez que tais obras requerem uma grande quantidade de material com comportamento mecânico usualmente atendido por esses resíduos.

De acordo com Santos (2007, 2011), a utilização de RCD-R para aterros em estruturas de solo reforçado (ESR) com utilização de geossintéticos mostra-se como uma alternativa viável. No entanto, faz-se necessário investigar os eventuais danos que o RCD-R pode causar durante o lançamento e compactação desses materiais sobre os geossintéticos.

### 1.1 Estrutura de solo reforçado com RCD-R

Segundo Becker (2006), a técnica de solo reforçado com geossintéticos consiste na combinação destes dois materiais, de naturezas essencialmente distintas e funções complementares, visando a obtenção de um material com-

posto mais resistente e menos deformável que o solo natural. O solo, que apresenta boa resistência à compressão e baixa resistência à tração, é reforçado com elementos geossintéticos que, geralmente, possuem boa resistência à tração.

Segundo a NBR 12553/2003, geossintéticos são definidos como “produtos poliméricos (sintéticos ou naturais), industrializados, desenvolvidos para a utilização em obras geotécnicas, desempenhando uma ou mais funções, entre as quais destacam-se: reforço, filtração, drenagem, proteção, separação, impermeabilização e controle de erosão superficial”.

Santos (2007) avaliou o potencial de uso de RCD-R em estruturas de solo reforçado com geossintéticos. Os resultados de Santos (2007) revelaram que os ensaios de caracterização do RCD-R estudado apresentaram baixa variabilidade nas suas propriedades e que o mesmo atendia às normas British Standard (BS 8006) e Federal Highway Administration (FHWA, 2001) para execução de solo reforçado. De acordo com Santos (2007, 2011), os resultados dos ensaios de cisalhamento direto demonstraram que o RCD-R ensaiado possuía excelente comportamento mecânico, o que possibilitaria a sua utilização em estruturas de solo reforçado.

### 1.2 Danos nos geossintéticos causados por RCD-R

Dentre as principais características de um elemento de reforço, a resistência à tração é a principal característica, pois esta é condicionante para a segurança da estrutura. Diante disso, a utilização de RCD-R em estruturas de solo reforçado com geossintéticos gera um fator primordial a ser investigado: a redução de resistência em geossintéticos devido a danos mecânicos causados por RCD-R.

Segundo Sieira (2003), durante o processo de instalação, o geossintético pode sofrer danos provocados pela compactação, tráfego de veículos, lançamento de agregados pontiagudos, rasgos, etc. reduzindo, assim, as suas propriedades mecânicas.

De acordo com Santos (2011), valor do fator de redução devido a danos mecânicos depende das condições de manuseio e instalação do geossintético, da gramatura do material de aterro e dos cuidados e técnicas de construção (equipamentos e energia de compactação). Quanto menor a gramatura do geossintético mais sensíveis são aos danos mecânicos, em especial com gramatura inferior a 300g/m<sup>2</sup>.

## 2 Materiais e Métodos

### 2.1 RCD-R

O RCD-R utilizado nesta pesquisa foi coletado na Usina de Reciclagem Ciclo Ambiental Ltda, localizada em Camaragibe-PE, um município da Região Metropolitana do Recife.

O RCD-R coletado para a pesquisa é nomeado pela usina de reciclagem como “refugo”, sendo o material menos nobre produzido e, assim, destinado para a execução de aterros.

As amostras foram coletadas na saída da esteira do britador (Figura 1), em um período de aproximadamente 1 (um) mês, com intervalos de 7 dias. As quantidades e as datas de coleta são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Coletas do RCD-R.

Amostra	Data da coleta	Quantidade (kg)
01	19.11.2013	75
02	26.11.2013	72
03	03.12.2013	82
04*	10.12.2013	79
05	17.12.2013	87

Onde: (\*) material coleado com a máquina desligada. Material retirado do alto da pilha.

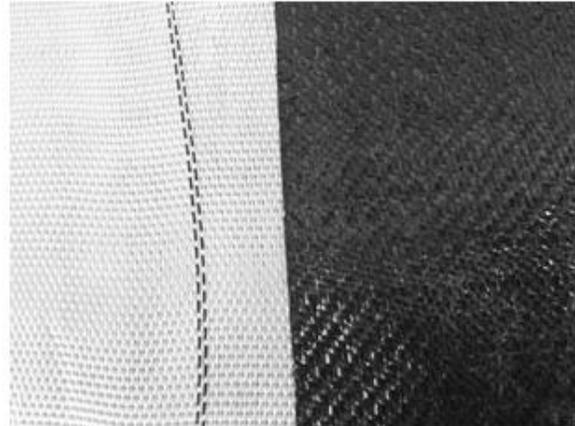


**Figura 1.** Equipamento empregado na britagem do resíduo. (Blenda souto Maior/DP/DA Press).

### 2.2 Geossintético

Foram usados nesta pesquisa dois tipos de geotêxteis tecido, um de poliéster (PET) e poliamida (PA) e o outro de polipropileno (PP) (Figura 2), com gramaturas de gramatura de 230 e 250 g/m<sup>2</sup>, respectivamente. Tais geotêxteis possuem como principais funções a de reforço e de

separação. O geotêxtil de PET e PA exigiu um maior cuidado durante o seu manuseio e foi cortado no sentido transversal, pois é de menor resistência à tração (Tabela 2).



**Figura 2.** Amostras de geossintéticos.

**Tabela 2.** Características dos geossintéticos.

Característica	Geotêxtil (PET e PA)	Geotêxtil (PP)
Polímero	Poliéster e Poliamida	Polipropileno
Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	230	250
Resistência à tração (KN/m)		
Longitudinal	100	45
Transversal	50	45
Deformação nominal de ruptura (%) (Long)	10	15
Deformação nominal de ruptura (%) (Trans.)	20	15

Onde: NI = não informado

### 2.3 Caracterização do RCD-R

Como este estudo trata-se de uma proposta de aplicação de RCD-R em uma obra geotécnica, as amostras foram submetidas a ensaios de caracterização de solos. Para isso, foram consultados os procedimentos prescritos nas seguintes normas:

- NBR 6457/86. Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização;
- NRB 7181/84 – Solo – Análise granulométrica;

- NBR 6508/84 – Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica;
- NBR 7182/86 – Solo – Ensaio de compactação.

Nos ensaios de compactação foi empregada a energia de Proctor Normal e foram executados com reuso de material.

## 2.4 Ensaios em campo

Após a caracterização do RCD-R, ficou constatado que o material apresentava uma predominância de solo arenoso e pedregulhos. Essa constatação levou a optar pelo lançamento e compactação do RCD-R, afim de verificar a ocorrência de danos no geotêxtil.

Para a realização dos ensaios no campo, foram adotados 3 cenários com diferentes de altura de lançamento do RCD-R, para analisar e comparar os resultados obtidos em cada cenário (Tabela 3). Para o ensaio de campo, foi construída uma caixa de madeira de 4m x 1,2m x 0,30m. A caixa teve a função de controlar o ambiente onde as amostras seriam ensaiadas, evitando, assim, a sua mistura com o solo natural.

**Tabela 3.** Cenários de lançamento do RCD-R.

Cenário	Altura de queda (m)
01	0,00
02	1,00
03	2,00

Após a execução da camada de base (de 0,08 m de espessura) de RCD-R, as amostras de geotêxtil foram colocadas de forma alternada em função do tipo do geotêxtil, afim de minimizar os erros pois durante o processo de lançamento do RCD-R não se pode garantir que o material cairia igualmente sobre todas as amostras (Figura 3). Em seguida foi adotado altura de queda diferente para cada cenário 0m, 1m e 2m, com a altura de queda do RCD-R sendo controlada com uma trena (Figuras 4 e 5).

Antes da compactação, o RCD-R foi espalhado sobre as amostras de geotêxtil de forma que a camada a ser compactada estivesse nivelada e recebesse o mesmo número de golpes do compactador à percussão. O número de passadas com o compactador à percussão sobre a camada de 0,20 m de RCD-R foi igual a 3 (três) passadas e mantido igual em todos os experimentos.



**Figura 3.** Amostras dispostas alternadamente, em função do tipo de geotêxtil.



**Figura 4.** Cenário com altura de queda de 2m.



**Figura 5.** Cenário com altura de queda de 1m.

## 2.5 Ensaio para determinação do dano mecânico nos geossintéticos

De acordo com Santos (2007), o fator de redução devido a danos mecânico torna-se mais difícil de ser estimado devido ao alto envolvimento do fator humano. Esse fator acarreta na introdução de fatores difíceis de serem quantificados, como por exemplo: a desatenção dos funcionários com o manuseio de ferramentas durante a execução da instalação.

O método mais usual para obtenção dos danos em geossintéticos é a utilização de fatores de redução de resistência. Este método consiste em comparar os resultados de resistência à tração de amostras virgens com os resultados obtidos de amostras danificadas.

As amostras de geotêxteis foram ensaiadas no Laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília (UnB). Para realização dos ensaios de tração não confinada, foi consultada a NBR 12824 (Figura 6).



Figura 6. Ensaio de resistência à tração de geotêxteis.

## 3 Resultados Obtidos

### 3.1 RCD-R

#### 3.1.1 Análise Granulométrica

As curvas de distribuição granulométrica do RCD-R apresentaram-se bastante próximas, o que pode ser explicado pelo fato da usina empregar procedimentos padronizados de reciclagem. Apenas a curva da amostra 3 apresentou uma pequena variação em relação aos demais (Figura 7).

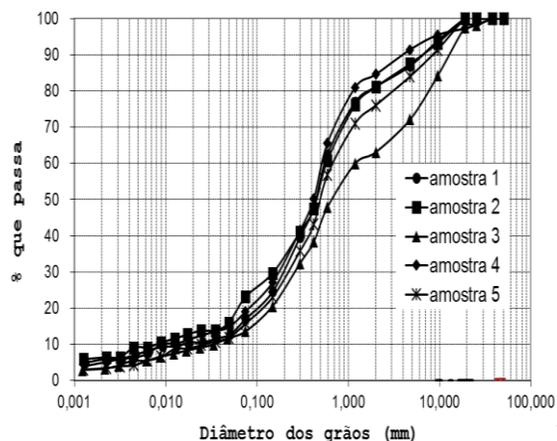


Figura 7. Curvas de distribuição granulométrica do RCD-R.

Observou-se que as amostras apresentaram um alto teor de areia e pedregulhos e um baixo teor de solos finos (argilas e siltes). Este resultado apresenta-se excelente, tendo em vista que o material analisado é usualmente empregado como material de aterro. A Tabela 4 mostra a participação de cada fração de solo na curva granulométrica média do RCD-R.

Tabela 4. Participação média das frações de solo na curva granulométrica média do RCD-R.

	Quantidade média (%)
Pedregulho	15,60
Areia grossa	7,21
Areia média	31,77
Areia fina	31,92
Silte	6,87
Argila	6,63

#### 3.1.2 Coeficiente de variação em função da dimensão dos grãos do RCD-R.

A análise dos valores dos coeficientes de variação (CV) do percentual passante de material em função das aberturas das peneiras (Figura 8) revela, de forma geral, há uma diminuição dos valores de CV à medida que aumentam as dimensões das aberturas das peneiras.

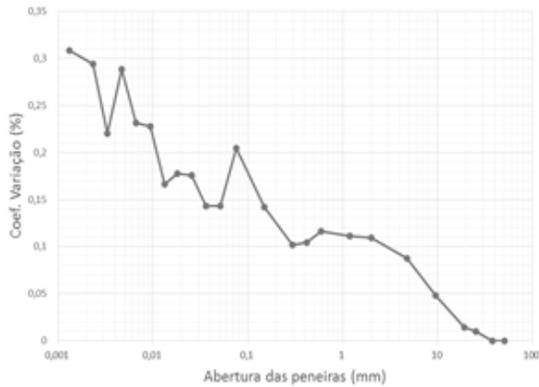


Figura 8. Coeficiente de variação em função da dimensão dos grãos do RCD-R.

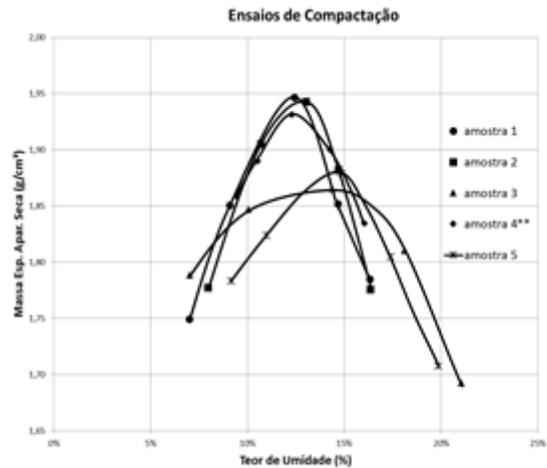


Figura 9. Curvas de compactação do RCD-R.

### 3.1.3 Índices de consistência

Foi verificado que os RCD-R analisados possuíam características não plástica. Isso pode apresenta-se como um fator positivo para a aplicação desses materiais em aterro.

### 3.1.4 Massa específica do RCD-R material passante na #4,8 mm

Os resultados dos ensaios de massa específica dos grãos passantes na peneira de #4,8 mm são apresentados na Tabela 5. O RCD-R apresentou um valor médio igual a 2,691 g/cm<sup>3</sup>, com um coeficiente de variação igual a 3,03%.

Tabela 5. Resultados dos ensaios de massa específica #4,8mm

Amostra	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )
1	2,607
2	2,664
3	2,813
4	2,642
5	2,731
Média	2,6914
Coef. de var.	3,03%

Tabela 6. Resultados dos ensaios de compactação.

Amostra	Dens. Seca Max.(g/cm <sup>3</sup> )	Umidade Ótima (%)
1	1,93	11,91
2	1,94	12,19
3	1,88	12,78
4	1,93	12,32
5	1,87	13,76
Média	1,91	12,59
Coef. de var.	1,70%	5,755%

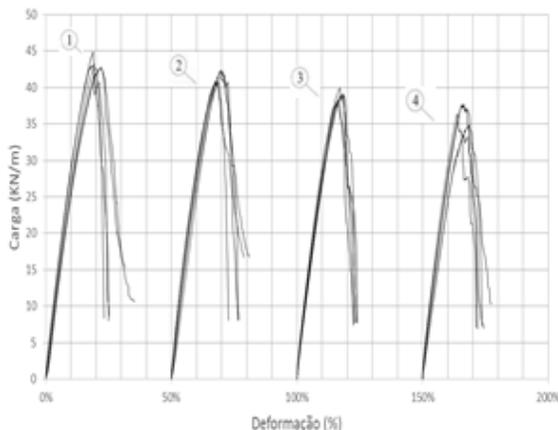
## 3.2 Geossintéticos

### 3.2.1 Dano no geotêxtil de polipropileno (PP).

As curvas carga versus deformação são apresentadas na Figura 10. A Tabela 7 apresenta um resumo dos valores obtidos com as amostras virgens, uma vez que esse cenário foi utilizado como referência para as análises de danos. A Tabela 8 apresenta a variação de resistência das amostras danificadas em relação às amostras virgens.

### 3.1.5 Compactação

Os resultados dos ensaios de compactação (Proctor Normal) revelaram valores médios de densidade massa seca máxima e umidade ótima iguais a 1,91 g/cm<sup>3</sup> e 12,6%, respectivamente, com baixa variabilidade (Figura 9 e Tabela 6).



**Figura 10.** Curva carga versus deformação do geotêxtil de PP (ensaios em faixa larga). Onde: 1- Amostra virgem; 2- Amostra 0m; 3- Amostra 1m; 4- Amostra 2m;

**Tabela 7.** Resistência à tração das amostra de geotêxtil (PP) virgens.

Amostra	Força (KN/m)
1	42,80
2	43,18
3	44,89
4	42,50
5	42,65
<b>Média</b>	43,20
<b>Coef. de var.</b>	2,26%

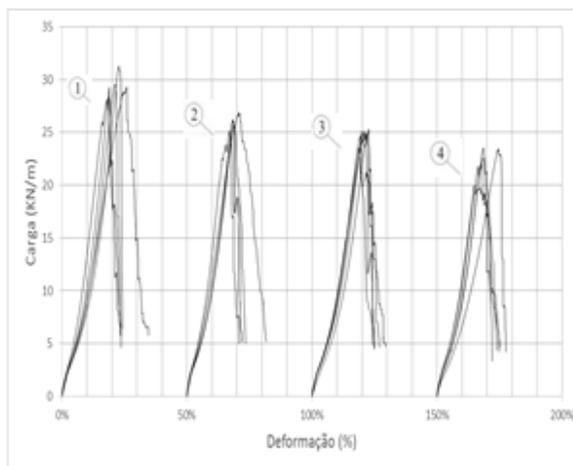
**Tabela 8.** Resistência à tração das amostras de geotêxtil danificadas.

Cenário (m)	Força média (kN/m)	Perca de resistência (%)
0	41,51	3,91
1	38,96	9,81
2	35,97	16,74

Observou-se que o geotêxtil (PP) sofreu danos mecânicos em todos os cenários ensaiados. Contudo a amostra que teve a altura que lançamento igual a 0 (zero), apresentou uma baixa variação de resistência. Entretanto as amostra que tiveram altura de lançamento de 1 m e 2 m apresentaram uma significativa queda na resistência, com as últimas chegando a valores de 16,74%.

### 3.2.2 Dano no geotêxtil de poliéster (PET) e poliamida (PA).

As curvas carga versus deformação do geotêxtil de PET e PA são apresentadas na Figura 11. A Tabela 9 apresenta um resumo dos valores obtidos com as amostras virgens. A Tabela 10 apresenta a variação de resistência das amostra em relação às amostras virgens.



**Figura 11.** Curva carga versus deformação das amostras de geotêxtil de PET e PA (ensaios em faixa larga). Onde: 1- Amostra virgem; 2- Amostra 0m; 3- Amostra 1m; 4- Amostra 2m;

**Tabela 9.** Resistência à tração das amostra de geotêxtil virgens.

Amostra	Força (kN/m)
1	29,25
2	28,48
3	29,53
4	31,27
5	29,31
<b>Média</b>	29,57
<b>Coef. de var.</b>	3,49%

**Tabela 10.** Resistência à tração das amostras de geotêxtil (PET e PA) danificadas.

Cenário (m)	Força média (kN/m)	Perca de resistência (%)
0	26,21	11,36

1	24,56	16,94
2	22,31	24,55

Verificou-se que o geotêxtil (PET e PA) sofreu danos mecânicos em todos os cenários ensaiados. O dano foi crescendo à medida que a altura de lançamento aumentou. As análises revelaram ainda que, mesmo considerando a mesma altura de lançamento do RCD-R, existiram diferenças entre os danos causados nos geossintéticos ensaiados.

No entanto, ressalta-se que os danos verificados neste estudo não inviabilizariam a aplicação dos geotêxteis com RCD-R, uma vez que, determinados os fatores de redução de resistências, isso pode ser incorporado na fase de projeto.

## 4 Conclusão

A partir dos resultados da investigação de fatores de redução de resistência de geossintéticos em estruturas de solo reforçado executadas com RCD-R, pode-se concluir que:

- O RCD-R apresentou baixa variação nos ensaios de caracterização geotécnica. Vale ressaltar que os resultados obtidos não foram diferentes de pesquisa realizadas anteriormente. Isso indica uma padronização no processo de beneficiamento realizado pela usina recicladora;
- O RCD-R apresentou excelentes propriedades para a sua aplicação em aterros: alto teor de areia e pedregulhos, baixo teor de solos finos (argilas e siltes), e não plasticidade;
- As amostras de geotêxtil submetidas apenas à compactação (cenário 0m), apresentaram em sua maioria uma baixa perda de resistência em relação às amostra virgens;
- As amostras submetidas ao lançamento do RCD-R (cenários 1 e 2m) apresentaram em sua maioria uma maior perda de resistências inicial. Assim é importante considera a altura de lançamento do RCD-R sobre o material geossintético como uma causa de perda de resistência.
- Entretanto, deve-se atentar para o fato de que este estudo não investigou os eventuais danos que poderiam ser causados pelo uso de equipamentos pesados, o que pode ser considerado em estudos futuros.

## 5 Agradecimentos

Os autores gostariam de expressar os agradecimentos à Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, pela bolsa de iniciação científica concedida por meio do PIBIC-POLI (2013-2014). Os autores aproveitam para agradecer também ao Programa de Pós-graduação em Geotecnia da UnB (PPG-UnB), Professor Ennio Palmeira, Professor Jaime Obando, Ciclo Ambiental Ltda e Huesker pelo apoio à pesquisa.

O financiamento do programa de pesquisa descrito nesse estudo tem sido realizado pelo CNPq, FAP-DF, CAPES e Finatec/UnB. Os autores aproveitam para também agradecer às importantes contribuições de Furnas, Embre Engenharia, Reforsolo Engenharia, Original, Huesker, Ober Geossintéticos, Linea G, Torc, Linea Jr, Ascole, Multiserviços and Caenge Ambiental.

## Referências

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT **NBR 6457**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. 19p. Rio de Janeiro, 1986.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT **NBR 6508**: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica. 8p. Rio de Janeiro, 1984.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT **NBR 7181**: Solo – Análise Granulométrica. 13p. Rio de Janeiro, 1984.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT **NBR 7182**: Solo – Ensaio de compactação. 10p. Rio de Janeiro, 1986.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR12553**: Geossintéticos - Terminologia. 3p. Rio de Janeiro, 2003.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR12824**: Geossintéticos: Determinação da Resistência à Tração Não-confinada – Ensaio de Tração de Faixa Larga. Rio de Janeiro, 1993.
- [7] BECKER, L. B. (2006). **Comportamento de geogrelhas em muro de solo reforçado e em en-**

- saíes de arrancamento.** Tese (Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil. 2006. 322p.
- [8] BS – British Standard (1995). BS 8006: **Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills.**
- [9] CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 307.** Brasília, 2002.
- [10] Elias, V.; Chistopher, B.R.; Berg, R.R. (2001). **Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design & Construction Guidelines.** U.S. Departamento of Transportation, Federal Highway Administration, Publication No. FHWA-NHI-00-043, 394p
- [11] GUSMÃO, A.D. (2008). **Manual de Gestão dos Resíduos da Construção Civil.** Gráfica Editora, Camaragibe, PE, 140p
- [12] SANTOS, E.C.G. (2007). **Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de dolo reforçado.** Dissertação (mestrado) – Escola de engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 168p.
- [13] SANTOS, E.C.G. (2011). **Avaliação Experimental de Muros Reforçados Executados com Resíduos de Construção e Demolição Reciclados (RCD-R) e Solo Fino.** Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 214 p.
- [14] SIERIRA, A.C.C.F. (2003). **Estudo Experimental dos Mecanismos de Interação Solo-Geograha.** Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ 363p.
- [15] SOUZA, U.E.L. de et. al.(2004), **Diagnóstico e combate à geração de resíduos na Produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem progressiva.** Ambiente Construído, v.4, nº 4, p.33-46.