

Estudo do Comportamento de Misturas de Solo e Fibra da Cana de Açúcar em Sergipe

Emiliana de S. Rezende Guedes

Instituto Federal de Sergipe-IFS, Aracaju, Brasil, emilianarezende@hotmail.com

Tulio S Rezende Café

Universidade Federal de Sergipe-UFS, Aracaju, Brasil, tuliocafe7@gmail.com

Amanda S. Gomes Costa

Instituto Federal de Sergipe-IFS, Aracaju, Brasil, amandasgc@hotmail.com

RESUMO: Entre os métodos de estabilização do solo, podemos citar os métodos mecânicos, físicos e químicos. A estabilização física pode ser realizada com materiais convencionais (ex: um solo mais estável), ou ainda com materiais alternativos (ex: resíduos da construção civil ou fibras naturais). Dentro deste contexto, o presente trabalho visa analisar o uso da fibra da cana de açúcar como reforço do solo. Para isto, buscou-se analisar a influência da adição da fibra ao solo através da caracterização dos materiais e determinação de suas propriedades mecânicas. A fibra da cana foi obtida de uma usina local, sendo estas selecionadas nas dimensões de 25 mm e 50 mm. O solo foi coletado de uma jazida aracajuana e caracterizado como uma areia argilosa medianamente plástica. As misturas foram feitas com teor de fibra de 0,75% e 1,5% em relação ao peso seco do solo. A campanha experimental constou da realização de ensaios de caracterização (granulometria, densidade relativa e limites de plasticidade) e de ensaios mecânicos (compactação, CBR e compressão simples). Todos os ensaios foram realizados no solo natural e em quatro misturas com a fibra. Foram utilizadas, respectivamente, as siglas SF25-0,75% e SF25-1,5%, para nomear as misturas com fibras de 25 mm e teores de 0,75% e 1,5% de fibra, respectivamente, e as siglas SF50-0,75% e SF50-1,5%, para nomear as misturas com fibras de 50 mm e teores de 0,75% e 1,5% de fibra, respectivamente. Nos resultados dos ensaios de compactação observou-se que, o aumento do comprimento e do teor de fibra implica na redução da densidade seca máxima e aumento da umidade ótima, porém nas amostras 0,75% de fibra os resultados estão muito próximos do solo natural. Em relação aos ensaios de CBR, observou-se que, em relação às misturas com fibras de 25 mm o aumento do teor de fibra não acarreta alterações no valor do CBR, quando comparado ao solo natural. Já nas fibras de 50 mm, foi possível verificar que o aumento do teor de fibra resultou no aumento do CBR. Nos ensaios de compressão simples há um aumento da deformação na ruptura com o uso das fibras.

PALAVRAS-CHAVE: Fibra, Cana de Açúcar, Reforço, Caracterização, Resistência.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Cordeiro et al. (2005) atualmente, o Brasil é responsável pela produção de cerca de 60% do álcool etílico consumido no planeta e é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e açúcar. A cultura da cana de açúcar representa

uma das principais atividades agrícolas e ocupa uma área plantada com aproximadamente 7 milhões de hectares para diversas finalidades, como indústria sucroalcooleira, produção de aguardente, forragem, etc, e está distribuída por grande parte do território nacional segundo levantamento da safra 2008 pela CONAB

(Companhia Nacional de Abastecimento).

A agroindústria sucroalcooleira é uma das mais antigas atividades econômicas do Brasil. Seus principais subprodutos são águas de lavagem, bagaço, folhas e pontas, vinhaça, torta de filtro e leveduras. Destes subprodutos, merece destaque a queima do bagaço para geração de energia elétrica. O emprego deste resíduo é atrativo devido, principalmente, a seu poder calorífico médio de 7,74 MJ/kg (1.850 kcal/kg) com umidade de 50% e aos grandes montantes de cana-de-açúcar processados dentro do setor sucroalcooleira, tornando a quantidade gerada de bagaço significativa (Coelho, 1999).

De acordo com Cordeiro (2006), para cada tonelada de cana de açúcar que alimenta o processo de moagem são gerados aproximadamente 26% de bagaço e 0,62% de cinza residual.

O estado de Sergipe, que no ano de 2010 encontrava-se na 15ª posição no ranking nacional de produção de cana de açúcar, atualmente conta com cinco usinas de álcool e açúcar.

Entre as problemáticas enfrentadas pelas usinas sergipanas para melhorar a produção pode-se citar a dificuldade na colheita da cana durante os períodos chuvosos. Este fato se deve às péssimas condições das estradas de acesso aos canaviais, pois, em geral, estas estradas são formadas por solos de características ruins, sendo estes altamente argilosos, denominados localmente de "massapé".

O solo pode ser considerado como o material de construção civil mais comum e de maior abundância na crosta terrestre. Do ponto de vista da terraplanagem e pavimentação, é um material que faz parte do subleito, sub-base, por vezes da base e até do revestimento primário. Quando as características dos solos locais não apresentam, total ou parcialmente, os requisitos exigidos, o engenheiro terá que adotar uma das seguintes alternativas (Medina, 1987):

- Evitar ou contornar o terreno ruim;
- Remover o solo ruim e substituí-lo por outro de qualidade superior;
- Projetar a obra para situação de terreno ruim de fundação (conviver com a situação

difícil);

- Estabilizar o solo existente.

A estabilização de um solo pode ser definida como sendo a alteração de qualquer uma de suas propriedades, de forma a melhorar seu comportamento sob o ponto de vista da engenharia (Medina et al., 2004). Consiste em um tratamento artificial, por um processo físico, químico ou físico-químico, tornando o solo estável para os limites de sua utilização, e ainda fazendo com que a estabilização permaneça sob a ação de cargas exteriores e também sob ações climáticas variáveis.

As propriedades de engenharia que se visa modificar na estabilização de um solo, segundo Medina et al. (2004), são:

- Resistência ao cisalhamento, tornando-a menos sensível às mudanças ambientais, principalmente à umidade, além de torná-la compatível com as cargas que a estrutura vai absorver;
- Permeabilidade, aumentando-a ou diminuindo-a;
- Compressibilidade, reduzindo-a.

Podem-se destacar três métodos de estabilização de solos: mecânico, físico e químico, podendo ser adaptados e combinados para a solução de um problema.

A estabilização mecânica (ex: compactação do solo) refere-se ao processo de tratamento de um solo com a finalidade de minimizar sua porosidade pela aplicação de sucessivas cargas, pressupondo que a redução de volume de vazios é relacionada ao ganho de resistência mecânica. (Santos et al., 1995).

A estabilização física consiste na modificação das propriedades do solo atuando na textura, ou seja, misturando solos com diferentes frações granulométricas (ex: misturas de solo com resíduos de demolição).

A estabilização química consiste na adição de uma determinada substância química ao solo, de modo a provocar mudanças que influenciam as propriedades de resistência mecânica, permeabilidade e deformabilidade deste, atingindo-se, então o objetivo de estabilizá-lo (Santos et al., 1995). Como

exemplos da técnica de estabilização química destacam-se o uso das misturas solo-cimento e de solo-cal.

Atualmente, estão sendo realizados diversos estudos com alguns materiais alternativos, entre estes podemos citar os trabalhos de Macedo (2013) e Bolaños (2013). Entre os materiais estudados no meio acadêmico como novas alternativas de estabilização de solos estão: os resíduos sólidos urbanos, fibras de coco ou ainda cinzas de cana de açúcar (Souza et al., 2007). Em países como Suécia, Dinamarca, França e Estados Unidos, estas metodologias já estão sendo implantadas há vários anos em camadas de pavimentos.

O uso de materiais alternativos é vantajoso para a indústria que gera este tipo de rejeito, e pode ser vantajoso para sua utilização pela indústria de construção civil como alternativa ao uso de estabilizantes convencionais para solos. Para que sejam concebidos novos materiais é necessário conhecer as propriedades dos materiais constituintes, bem como suas possíveis combinações.

2 MATERIAIS

2.1 Solo

Para a presente pesquisa, foi utilizado um solo coletado de uma jazida, localizada no bairro Santa Maria, no município de Aracaju/SE (Figura 1).



Figura 1. Visão geral do solo.

Foram coletados em torno de 250 kg, acondicionando o material em sacos. O material foi transportado para o laboratório de

Construção Civil do Instituto Federal de Sergipe, levado para uma prévia secagem ao ar e, por fim, estocado em local apropriado.

2.2 Fibra

A fibra natural (Figura 2) foi fornecida pela Usina São José do Pinheiro, localizada no município de Laranjeiras/SE. A empresa, fundada a mais de 100 anos, atualmente produz álcool e açúcar para o mercado local e externo.



Figura 2. Visão geral da fibra.

A fibra é proveniente do bagaço da cana de açúcar. Foram coletados 10 kg de fibras, que foram acondicionadas em saco e transportadas para o laboratório de Construção Civil do Instituto Federal de Sergipe. Após isso, a fibra foi levada para uma prévia secagem ao ar e, por fim, estocada.

Para a realização dos ensaios mecânicos nas amostras com fibras, procurou-se selecionar fibras com dimensões aproximadas de 25 mm e de 50 mm.

3 MÉTODOS

Após aquisição e acondicionamento dos materiais, deu-se início à campanha de ensaios. A mesma dividiu-se em duas etapas, sendo a primeira referente aos ensaios de caracterização física nas amostras de solo e a segunda aos ensaios mecânicos nas amostras de solo e de misturas com fibras.

Os ensaios buscaram analisar a influência do comprimento da fibra e do teor de fibra nas misturas. Para isso, quatro tipos de misturas foram preparadas. O preparo das amostras

seguiu os métodos descritos pela NBR 6457 (ABNT, 1986). A Tabela 1 apresenta as siglas de identificação das amostras ensaiadas, bem como os percentuais das misturas.

Tabela 1. Identificação das amostras e composição das misturas.

Amostra	Sigla	% em Peso do material	
		Solo	Fibra
Solo	S	100	-
Solo + 0,75% de fibra 25 mm	SF25-0,75%	99,25	0,75
Solo + 1,50% de fibra 25 mm	SF25-1,50%	98,50	1,50
Solo + 0,75% de fibra 50 mm	SF50-0,75%	99,25	0,75
Solo + 1,50% de fibra 50 mm	SF50-1,50%	98,50	1,50

3.1 Ensaios de Caracterização Física

Na campanha de caracterização física, buscou-se realizar os ensaios de análise granulométrica, limites de Atterberg (limite de liquidez e limite de plasticidade) e massa específica real dos grãos. Vale ressaltar que estes ensaios foram realizados somente na amostra do solo natural.

Os ensaios de análise granulométrica tiveram como base as diretrizes prescritas na NBR 7181 (ABNT, 1984). Os limites de Atterberg foram realizados de acordo com a norma NBR 6459 (ABNT, 1984), para o limite de liquidez e a norma NBR 7180 (ABNT, 1984), para o limite de plasticidade. Os ensaios de massa específica real dos grãos foram realizados de acordo com a NBR 6508 (ABNT, 1984).

3.2 Ensaios Mecânicos

Na etapa de caracterização mecânica, a análise foi constituída por ensaios de compactação e de índice de suporte Califórnia (ISC). Estes ensaios foram realizados na amostra do solo natural e nas quatro misturas com as fibras (SF25-0,75%, SF25-1,50%, SF50-0,75% e SF50-1,50%).

Os ensaios de compactação foram

executados com base na NBR 7182 (ABNT, 1986). O objetivo era a determinação dos parâmetros ótimos dos materiais, ou seja, a determinação da umidade ótima (w_{ot}) e da densidade seca máxima (ρ_{dmax}), ambos obtidos da curva de compactação. Todos os ensaios foram executados com reuso do material, no cilindro metálico grande e na energia Normal.

A partir dos valores de umidade ótima e densidade seca máxima dos materiais, foram realizados os ensaios de índice de suporte Califórnia (ISC). Estes ensaios foram executados conforme a NBR 9895 (ABNT, 1987).

Por fim, foram realizados ensaios de compressão simples, de acordo com a NBR 12770 (ABNT, 1992).

Nos ensaios de ISC e Compressão simples, todas as amostras foram moldadas na umidade ótima.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Ensaios de Caracterização Física

4.1.1 Análise Granulométrica

A curva granulométrica do solo está apresentada na Figura 3. Com base na curva, foi possível verificar as características das partículas presentes no solo. Percebeu-se uma composição arenosa, com presença considerável de argila.

Verificou-se também que o solo não apresenta coeficiente de uniformidade (C_u) e curvatura (C_c), justificado pelo teor de partículas argilosas presentes no material.

Na Tabela 2, são mostrados os percentuais de pedregulho, areia, silte e argila presentes no solo.

De acordo com os resultados, foi possível verificar que o material possui a faixa de areia como material predominante (56,35%), seguido por argila (23,19%), pedregulho (15,12%) e silte (5,34%).

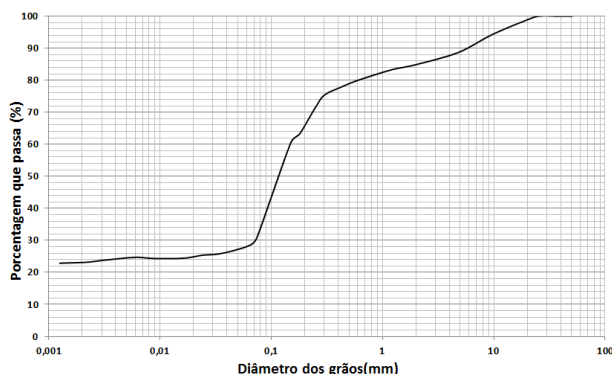


Figura 3. Curva granulométrica do solo.

Tabela 2. Percentagens das faixas granulométricas do solo, conforme escala granulométrica da ABNT (NBR 6502, 1995).

Faixa	Diâmetro (mm)	Percentual (%)
Pedregulho	60 – 2	15,12
Areia	Grossa 2 – 0,6	4,92
	Média 0,6 – 0,2	8,43
	Fina 0,2 – 0,06	43,00
Silte	0,06 – 0,002	5,34
Argila	< 0,002	23,19

4.1.2 Limites de Atterberg

A Tabela 3 apresenta os índices de consistência fornecidos pelos ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade, bem como, a classificação do solo em relação à plasticidade.

Tabela 3. Resultados dos limites de Atterberg e classificação quanto à plasticidade.

Índices de Consistência	Solo
Limite de Plasticidade LP (%)	15,38
Limite de Liquidez LL (%)	22,70
Índice de Plasticidade IP (%)	7,32
Índice de Atividade	0,32
Classificação quanto à plasticidade	Medianamente plástico

Os resultados dos limites de Atterberg indicam um solo que pode ser classificado como um material medianamente plástico.

Em relação à atividade da argila presente no solo, observa-se que, pelo Índice de atividade menor do que 0,75, a argila é considerada como inativa.

4.1.3 Massa Específica dos Grãos

De acordo com resultados dos ensaios, o valor para a massa específica dos grãos do solo foi de 2,673 g/cm³, resultado típico de materiais arenosos.

4.1.4 Classificação do Solo

A partir dos resultados dos ensaios de granulometria e índices de consistência, o solo pôde ser classificado em diferentes sistemas de classificação. A Tabela 4 apresenta os resultados de classificação do solo.

Tabela 4. Classificação do solo.

Sistema de Classificação	Classificação
ABNT	Areia argilosa com pedregulho e pouco silte
SUCS	SC
TRB	A-2-4

4.2 Ensaios Mecânicos

4.2.1 Compactação

A Figura 4 ilustra as curvas de compactação dos materiais. Com base na curva, foram obtidos os valores de umidade ótima (w_{ot}) e da densidade seca máxima ($\rho_{dmáx}$).

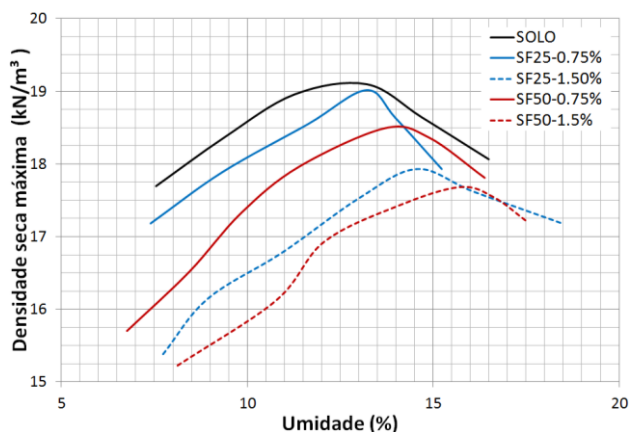


Figura 4. Curvas de compactação.

A Tabela 5 apresenta um resumo comparativo dos resultados de compactação nas amostras de solo e nas quatro misturas com fibras.

Tabela 5. Valores de umidade ótima e peso específico aparente seco máximo.

Amostra	W _{ot} (%)	$\rho_{dm\acute{a}x}$ (kN/m ³)
S	12,7	19,1
SF25-0,75%	13,2	19,0
SF25-1,50%	14,7	17,9
SF50-0,75%	14,1	18,5
SF50-1,50%	16,0	17,7

Observa-se que a adição de fibras causa uma redução da densidade seca máxima (de 19,1 kN/m³ para 17,7 kN/m³) e aumento da umidade ótima (de 12,7 % para 16%). Quanto maior o teor de fibra e quanto maior a dimensão da fibra, maior será essa alteração. Esta redução foi mais considerável nas amostras com maior teor de fibras (SF25-1,50% e SF50-1,50%). Porém, ao observar a amostra SF25-0,75% conclui-se que as alterações nos valores de umidade ótima (de 12,7% para 13,2%) e densidade seca máxima (de 19,1 kN/m³ para 19,0 kN/m³) foram pouco relevantes, ou seja, o material apresentou um comportamento muito próximo ao do solo natural.

4.2.2 Índice de Suporte Califórnia

Os resultados dos ensaios de índice de suporte Califórnia estão representados na Tabela 6.

Tabela 6. Valores de ISC e expansão das amostras.

Amostra	ISC (%)	Expansão (%)
S	6	1,9
SF25-0,75%	3	2,1
SF25-1,50%	3	2,7
SF50-0,75%	6	2,4
SF50-1,50%	7	2,7

Com base nos resultados do ISC, foi possível verificar que:

a) Com relação às misturas com fibras de 25 mm, é possível perceber que há uma redução considerável no valor do ISC e um aumento na expansão do material;

b) Com relação às misturas com fibras de 50 mm, verificou-se que o valor do ISC fica praticamente inalterado, sendo que no caso da amostra SF50-1,50% houve um leve acréscimo. Já com relação à expansão, observou-se que nestas misturas também há um aumento da

expansão.

Desta forma, o ensaio de ISC indicou que o uso de fibras provoca um aumento da expansão do material, quando imerso em água, como também indica que as fibras de maior comprimento tendem a fornecer maiores valores de ISC às misturas.

4.2.3 Compressão Simples

A Figura 5 ilustra as curvas de resistência à compressão dos materiais. Com base na curva, foram obtidos os valores de tensão na ruptura (σ_r) e deformação na ruptura (ϵ_r).

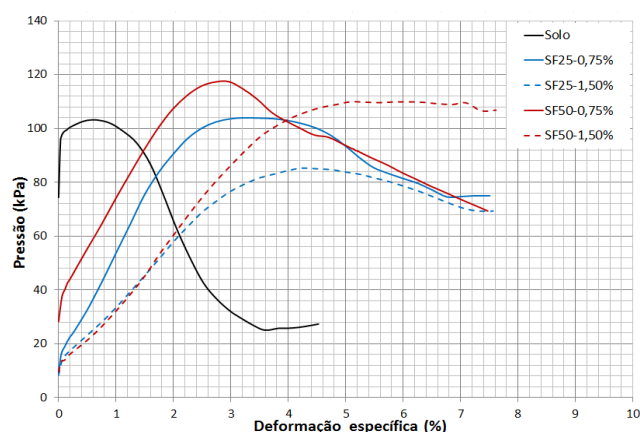


Figura 5. Curvas de resistência à compressão simples.

A Tabela 7 apresenta um resumo dos resultados dos ensaios de compressão nas amostras de solo e nas quatro misturas com fibras.

Tabela 7. Valores da tensão e deformação na ruptura.

Amostra	σ_r (kPa)	ϵ_r (%)
S	103,1	0,68
SF25-0,75%	104,0	3,23
SF25-1,50%	85,0	4,50
SF50-0,75%	117,4	2,96
SF50-1,50%	109,8	5,07

Com base nos resultados, observa-se que a inclusão das fibras de cana-de-açúcar implica em aumento da deformação na ruptura.

Com relação à influência do comprimento das fibras, verificou-se que as amostras com fibras de 50 mm obtiveram maiores valores de resistência à compressão, quando comparadas com as amostras com fibras de 25 mm (na

mesma concentração de fibra).

Com relação à influência da concentração das fibras, é possível perceber que nas amostras de 25 mm e 50 mm o aumento da concentração da fibra implica na redução da resistência à compressão como também no aumento da deformação na ruptura.

De acordo com Tabela 7, é possível verificar que o uso de fibras de 50 mm (SF50-0,75% e SF-50 1,50%) acarretou em acréscimo da resistência à compressão do solo.

5 CONCLUSÕES

Ao investigar as características físicas e mecânicas das amostras estudadas nesta presente pesquisa, pode-se concluir, com base nos ensaios físicos, que o solo analisado foi classificado como uma areia argilosa com pedregulho e pouco silte; medianamente plástico, porém com argila inativa. A massa específica dos grãos de 2,673 g/cm³ apresenta valor coerente com o de materiais arenosos.

Com base nos ensaios de ISC, nas amostras com fibras de 25 mm há uma redução considerável no valor do ISC e um aumento na expansão do material, enquanto que nas amostras com fibras de 50 mm, o valor do ISC fica praticamente inalterado. Nos ensaios de compressão simples, observou-se que o uso das fibras promove a ocorrência de ruptura do material em maiores deformações. Além disso, nas amostras com fibras de 50 mm houve um acréscimo da resistência à compressão do material natural.

Com isto conclui-se que o uso de fibras provoca um aumento da expansão do material, quando imerso em água. Por outro lado, a ruptura do material com fibra ocorrerá em maiores deformações, além disto, fibras de 50 mm promovem aumento da resistência à compressão, quando comparado com o solo natural.

A partir deste estudo, fica como sugestão para futuras pesquisas:

a. Desenvolvimento da mesma campanha de ensaios, porém utilizando fibras com 75 mm e 100 mm;

b. Realização de ensaios com as mesmas misturas, porém com um solo mais granular

(maior teor de pedregulho) para que possa ser analisado a possibilidade de uso das misturas em base de pavimentos;

c. Realização de ensaios mecânicos nas amostras na energia de compactação Intermediária;

d. Realização de outros ensaios de resistência (cisalhamento direto e de compressão triaxial) a fim de conhecer parâmetros de resistência ao cisalhamento para uso dos materiais em diferentes tipos de obras civis, como, por exemplo, em aterros compactados de estruturas de contenção;

e. Execução de ensaios de adensamento, para verificação da compressibilidade das misturas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Usina São José do Pinheiro pelo fornecimento das fibras (bagaço da cana-de-açúcar), ao Instituto Federal de Sergipe (IFS) pela disponibilização do laboratório para realização dos ensaios e à Coordenadoria de Laboratórios de Construção Civil (CLCC) pelo apoio prestado à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984) *NBR 6459: Solo – determinação do limite de liquidez*, Rio de Janeiro.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984) *NBR 6508: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - determinação da massa específica*, Rio de Janeiro.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984) *NBR 7180: Solo – determinação do limite de plasticidade*, Rio de Janeiro.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984) *NBR 7181: Solo – análise granulométrica*, Rio de Janeiro.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1986) *NBR 7182: Solo – ensaio de compactação*, Rio de Janeiro.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1986) *NBR 6457: Amostras de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*, Rio de Janeiro.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1987) *NBR 9895: Solo – índice de suporte Califórnia*, Rio de Janeiro.

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992) *NBR 12770: Solo coesivo – determinação da resistência à compressão não-confinada*, Rio de Janeiro.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1995) *NBR 6502: Rochas e solos*, Rio de Janeiro.
- Bolaños, R. Z. (2013) *Comportamento mecânico de um solo argiloso reforçado com fibras de côco*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Cordeiro, G. C. (2006) *Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto*, Tese de Doutorado. COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Cordeiro, G. C.; Toledo Filho, R. D.; Fairbairn, E. M. (2005) *Avaliação da reatividade da cinza residual do bagaço de cana de açúcar com cimento Portland e cal*, In: *47º Congresso Brasileiro do Concreto – IBRACON*, Olinda, Brasil, CD-ROM.
- Macedo, T. F. (2013) *Análise do desempenho mecânico da mistura agregado reciclado-solo-fibra-cimento para pavimentação*, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, Recife.
- Medina, J. (1987) *Apostila de estabilização de solos – COPPE/UFRJ*, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Medina, J. e Motta, L. M. G. (2004) *Apostila de estabilização de solos*, Escola de Engenharia/UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Santos, M.; Lima, D. e Bueno, B (1995) Estabilização dos solos com cal e betume, In: *6º Reunião de pavimentação urbana*, Santos, São Paulo, pp.74 – 97.
- Souza, G. N; Formagini, S.; Custódio, F. O. e Silveira, M. M. Desenvolvimento de Argamassas com Substituição Parcial do Cimento Portland por Cinzas Residuais do Bagaço de Cana-de-açúcar. 2007. In: *49º Congresso Brasileiro do Concreto – IBRACON*, Bento Gonçalves, Brasil, CD-ROM.