

# **AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DO MATERIAL SOLO, “ÁGUA-DE-COLA” E CAL ATRAVÉS DE CICLOS ALTERNADOS DE MOLHAMENTO E SECAGEM**

**ROLIM, Mário M. (1); FREIRE Wesley J. (2)**

(1) Eng. Civil, Prof. Dr. do DTR/UFRPE, Rua Dom. Manoel de Medeiros, S/N, Dois Irmãos Recife-PE, CEP52171-900, E-mail rolim@gir.npde.ufrpe.br  
(2) Prof. Titular, FEAGRI/UNICAMP, E-mail wesley@agr.unicamp.br

## **RESUMO**

Este trabalho tem por objetivo avaliar a durabilidade do material solo-resíduo “água-de-cola” e cal, através de quatro ciclos alternados de molhamento e secagem. A mistura foi feita com solo argiloso tratado com 15% do resíduo “água-de-cola” concentrado a 5 e 10% de PVA e adicionado de 3% de cal. Seis corpos-de-prova foram compactados no ensaio de compactação mini-Proctor e avaliados quanto à variação de umidade, à perda de resistência à tração na compressão diametral, e à expansão e contração axiais.

Os resultados dos ensaios aplicados aos corpos-de-prova de solo argiloso e solo argiloso adicionado de cal e tratado com “água-de-cola”, mostraram trincamento e erosão, além de perda de resistência (no caso de corpos-de-prova tratados com “água-de-cola”) e ganho (para corpos-de-prova adicionados de cal). De maneira geral, os menores valores de expansão e contração foram obtidos para a mistura tratada com o resíduo “água-de-cola” concentrado a 5% de PVA e adicionado de 3% de cal.

## **ABSTRACT**

The aim of this work was to evaluate the durability of the soil-residue “água-de-cola” and lime through four alternated wet-dry cycles. The mixture was made with clayey soil treated with 15% concentrated “água-de-cola” and reinforced with 3% lime. Six specimens were molded in the mini-Proctor and evaluated in relation to the loss of resistance and the axial swelling and shrinkage characteristics.

The results showed failure and erosion, beyond the loss of splitting tensile (in the case of specimens treated with “água-de-cola”) and increasing (for specimens reinforced with lime). In general, the lesser values of swelling and shrinkage were obtained for the mixture treated with the residue “água-de-cola” concentrated to 5% PVA and reinforced with 3% lime.

## 1. INTRODUÇÃO

Resultante do processamento da “cola-branca” (PVA - Poli-Acetato de Vinila), o resíduo “água-de-cola”, efluente líquido, é obtido da lavagem de reatores, cubas e guardas hidráulicas, e produzido à razão de 700 litros para cada 1000 kg de PVA. Sua disposição é feita encaminhando-se o resíduo a uma fossa coletora de efluente, de onde, finalmente, é lançado diretamente sobre o leito carroçável de estradas de terra, com a finalidade de reduzir a formação de pó.

Por sua vez, um dos grandes questionamentos feitos aos materiais com resíduo incorporado é o que se refere à sua durabilidade, ao seu comportamento em presença de água, bem como a perda ou ganho de resistência ao longo do tempo. A variação da resistência de tijolos de solo-vinhaça concentrada, ao 30 dias e 16 meses foram avaliados por ROLIM e FREIRE (1998), os resultados mostraram ganhos de resistência para os tijolos confeccionados com as misturas de solos, arenoso e argiloso, com o resíduo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a durabilidade do material solo-resíduo “água-de-cola” e cal, através de quatro ciclos alternados de molhamento e secagem.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O solo argiloso utilizado foi coletado em uma jazida localizada na indústria Rhodia do Brasil Ltda. Com a seguinte composição granulométrica: 4% de areia grossa, 29% de areia fina, 11% de silte e 56% de argila. A cal utilizada foi aquela de marca ITAÚ. A opção por cal hidratada, se fez por trata-se um material amplamente utilizado no tratamento de resíduos.

O resíduo líquido “água-de-cola”, com 0,5% de sólidos totais, foi fornecido pela indústria Rhodia e utilizado nas concentrações de 5% e 10%.

### Aplicação dos tratamentos

Os tratamentos compreenderam a aplicação de diferentes doses de água-de-cola, nas concentrações de 0% (testemunha), 5% e 10%, a solo argiloso estudado, sendo a dose de 15%, em relação ao peso da mistura seca; o aditivo utilizado foi a cal, na dose de 3%, em relação ao peso do solo seco, compreendendo 6 tratamentos. Estando a configuração dos tratamentos mostrada no Tabela 1.

**Tabela 1** – Definição dos tratamentos utilizados nos ensaios de laboratório.

Tratamento	Tipo de solo	Cal (kg/100 kg)	Concentração de (água-de-cola)	Dose (kg/100 kg)
T1	Argiloso	0	0%	0
T2		0	5%	15
T3		0	10%	15
T4		3	0%	15
T5		3	5%	15
T6		3	10%	15

No ensaio de compactação mini-Proctor, corpos-de-prova de 5 x 5 cm (diâmetro x altura), as amostras de solo foram peneiradas em peneira nº 10 (2,00 mm), homogeneizadas, etiquetadas e depositadas numa caixa de isopor, por um período de 24 h, novamente homogeneizadas, e, em seguida, submetidas aos ensaios. Segundo NOGAMI e VILLIBOR (1995), devido ao volume reduzido do corpo-de-prova (mini-Proctor), o material não é re-utilizado, bastando apenas um umedecimento prévio do mesmo.

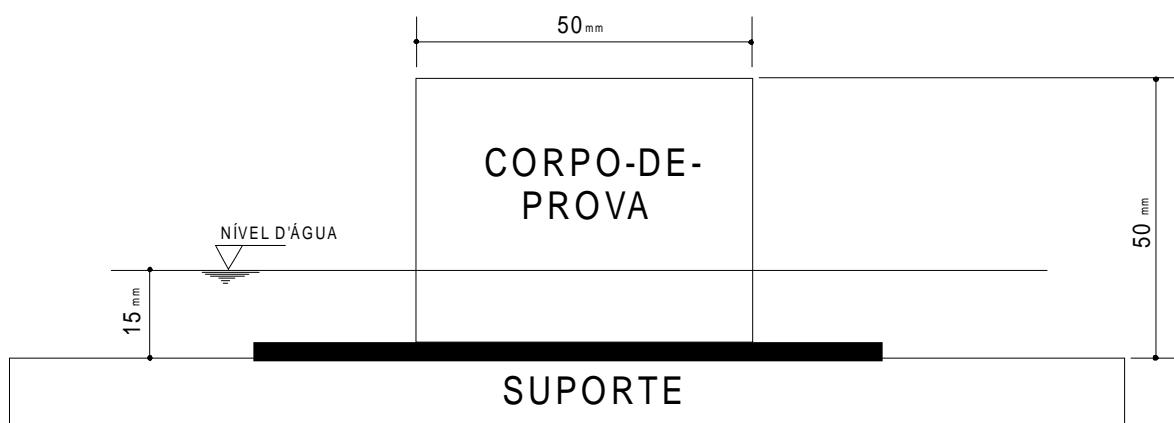
### **Ensaio de durabilidade por ciclos alternados de molhamento e secagem**

A durabilidade foi avaliada através da perda de resistência à tração na compressão diametral de corpos-de-prova submetidos a 4 ciclos de molhamento e secagem e curados em câmara úmida. A avaliação da durabilidade de corpos-de-prova em laboratório foi feita baseando-se na metodologia proposta por MARCON (1981) e SILVA e CERATTI (1981), para misturas solo-cal-cinza volante.

Para isto, seis corpos-de-prova de cada tratamento foram compactados na umidade ótima e peso específico aparente seco máximo do ensaio de compactação mini-Proctor, sendo, em seguida, envoltos em filme plástico durante os 21 dias de cura em câmara úmida. Após o período de cura, dois corpos-de-prova de cada tratamento permaneceram na câmara úmida até o dia do rompimento à tração na compressão diametral; dos demais, um foi utilizado para a determinação da umidade durante os ciclos de molhamento e secagem; o quarto, foi submetido ao processo de molhamento e secagem e utilizado para as medições de expansão e contração axial; os dois restantes, foram submetidos ao ensaio de durabilidade sendo, ao final submetidos também ao ensaio de tração na compressão diametral.

Durante o processo de molhamento, os corpos-de-prova foram parcialmente imersos em uma lâmina de água de 15 mm de altura (Figura 1), ficando o restante de sua massa exposto ao ar livre, durante 24 h. O molhamento se dava por ascensão capilar da água, enquanto que a secagem, por exposição ao ar, mediante evaporação da água e carbonatação da cal, durante 4 dias.

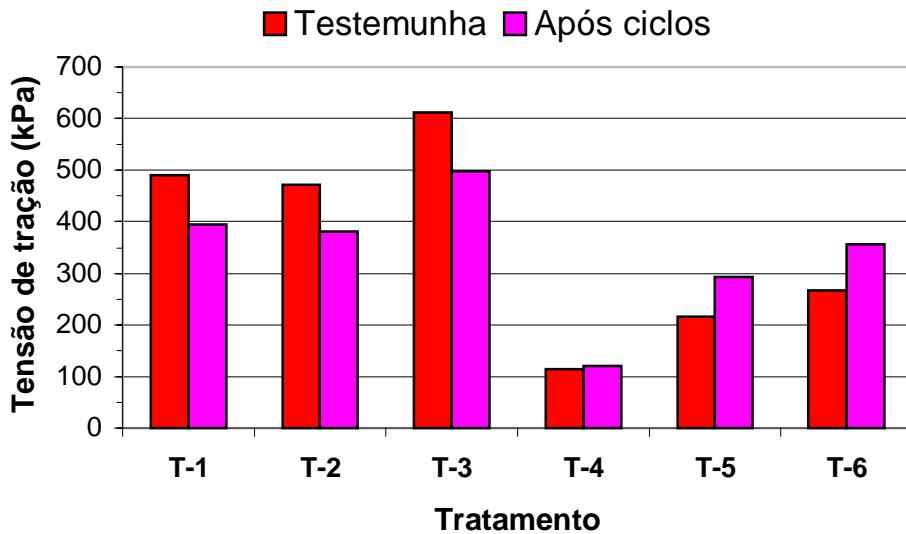
Durante o processo de molhamento e secagem, as medições de expansão e contração axial dos corpos-de-prova, foram efetuadas com auxílio de um extensômetro, sendo os corpos-de-prova, em todas as fases do ensaio, pesados e medidos.



**Figura 1** – Detalhe do corpo-de-prova no processo de molhamento (a) e secagem (b).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de resistência à tração na compressão diametral de corpos-de-prova de solo argiloso e solo argiloso adicionado de cal e tratados com “água-de-cola” concentrada, submetidos ao ensaio de durabilidade, esta apresentado na Figura 2.



**Figura 2** – Resistência à tração na compressão diametral de corpos-de-prova de solo argiloso e solo argiloso adicionado de cal, tratados com “água-de-cola”, antes e após os ciclos alternados de molhamento e secagem

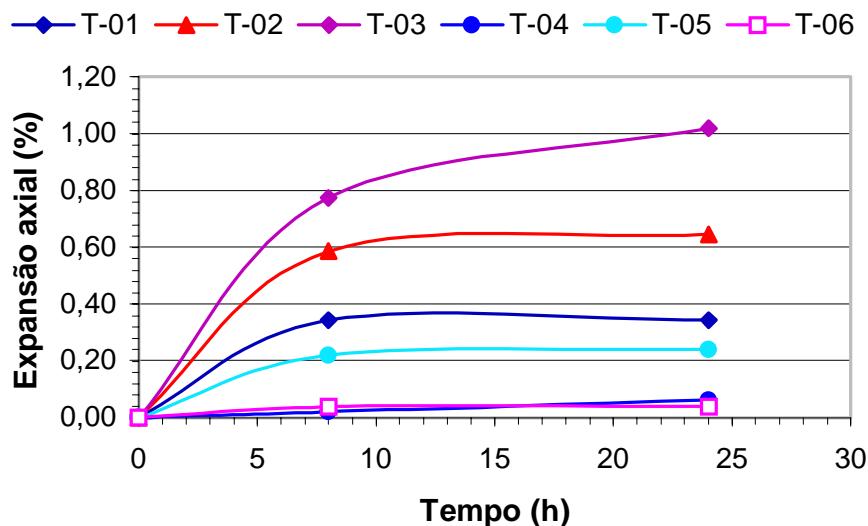
Para o solo argiloso (T1), os valores de resistência à tração na compressão diametral de corpos-de-prova, submetidos aos ciclos alternados de molhamento e secagem e curados em câmara úmida, apresentaram uma relação de 80,55% entre os valores tomados antes e após a aplicação dos ciclos; esta relação é muito próxima, 80,08 e 81,26%, respectivamente, para o solo argiloso tratado com 15% de “água-de-cola” concentrada a 5 e 10%. No caso do solo argiloso tratado com 3% de cal, a relação se inverteu, 105,56%, passando o valor de resistência à tração de corpos-de-prova submetidos aos ciclos alternados de molhamento e secagem a ser superior ao daqueles corpos-de-prova curados em câmara úmida; a mesma tendência também foi verificada para o solo argiloso adicionado de cal e tratado com “água-de-cola” concentrada a 5 e 10% (135,29 e 133,33%, respectivamente).

De maneira geral, os corpos-de-prova de solo argiloso e solo argiloso tratado com cal e diferentes doses de “água-de-cola”, suportaram aos ciclos de molhamento e secagem; no caso específico do solo argiloso tratado com cal, ocorreu um trincamento do corpo-de-prova, a partir do segundo ciclo, e, para o solo argiloso adicionado de cal e tratado com “água-de-cola” concentrada a 10%, o aparecimento de cristais de sais, na sua superfície superior, a partir do terceiro ciclo. Ao final do ensaio, foi observado que o corpo-de-prova do tratamento T1 sofreu pouca erosão e trincamento, não comprometendo sua integridade; nos tratamentos T2 e T3, apareceram fissuras normais à sua geratriz, enquanto que no tratamento T4, ocorreu apenas pequena erosão no bordo inferior; os corpos-de-prova dos tratamentos T5 e T6 permaneceram em perfeito estado.

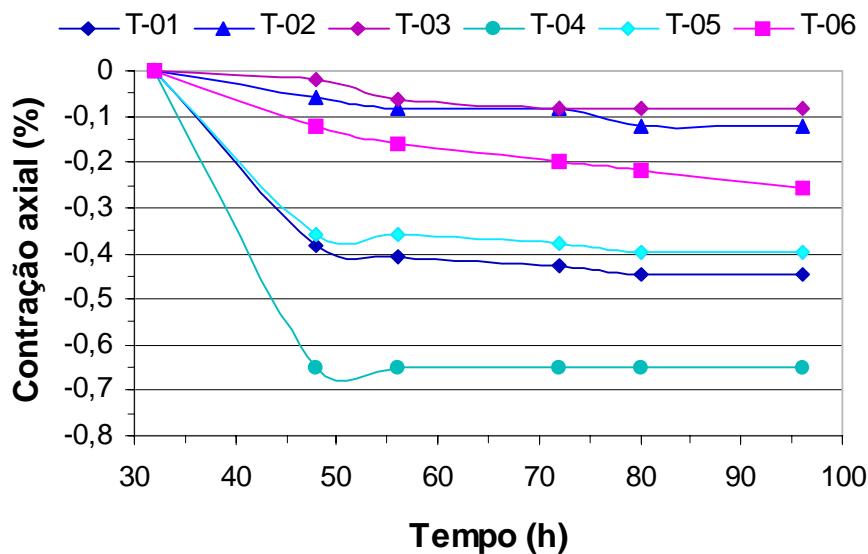
A ordem de grandeza dos valores de resistência à tração na compressão diametral apresentados por corpos-de-prova de 5 x 5 cm (diâmetro x altura), tanto nos ensaios de durabilidade como nos ensaios de tração, foi a mesma, assim como os valores de resistência à tração dentro dos respectivos tratamentos.

### Expansão e contração axiais

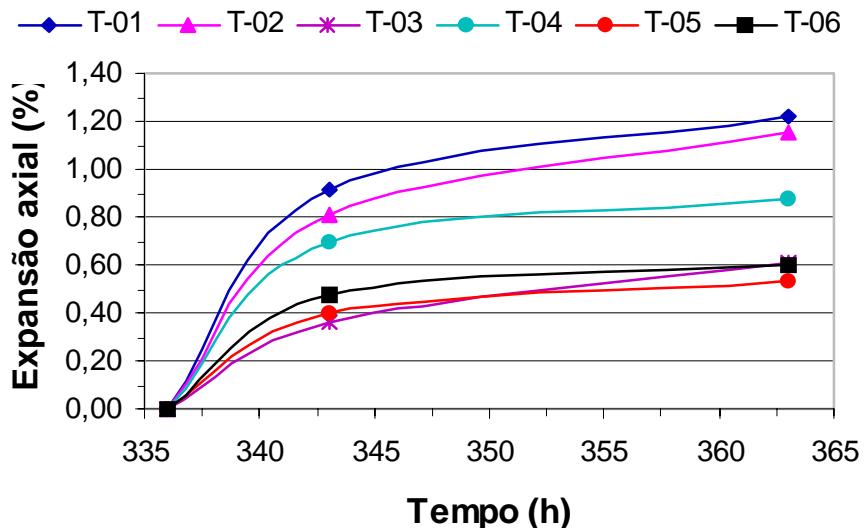
Os resultados das medições da expansão axial de corpos-de-prova submetidos ao primeiro ciclo do ensaio de durabilidade, para o solo argiloso, está mostrado na Figura 3, enquanto que o referente ao quarto ciclo, na Figuras 5. Os valores de contração axial dos corpos-de-prova de solo argiloso, referentes ao primeiro ciclo, está mostrado na Figuras 4 e o do quarto ciclo, na Figura 6.



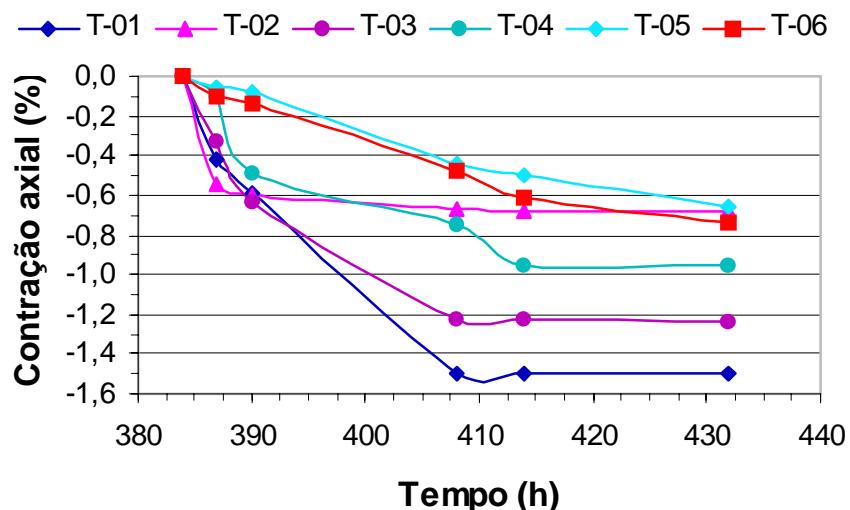
**Figura 3** – Expansão axial dos corpos-de-prova de solo argiloso e solo argiloso adicionado de cal e tratado com “água-de-cola”, durante o primeiro ciclo de molhamento e secagem.



**Figura 4** – Contração axial dos corpos-de-prova de solo argiloso e solo argiloso adicionado de cal e tratado com “água-de-cola”, durante primeiro ciclo de molhamento e secagem.



**Figura 5** – Expansão axial dos corpos-de-prova de solo argiloso e solo argiloso adicionado de cal e tratado com “água-de-cola”, durante o quarto ciclo de molhamento e secagem.



**Figura 6** – Contração axial dos corpos-de-prova de solo argiloso e solo argiloso adicionado de cal e tratado com “água-de-cola”, durante o quarto ciclo de molhamento e secagem.

### Primeiro ciclo

Com relação à expansão, determinada durante o ensaio de durabilidade, por ciclos alternados de molhamento e secagem, os resultados mostraram que, para o solo argiloso e solo argiloso tratado com 3% de cal e “água-de-cola” em diferentes concentrações (Figura 2), os maiores valores foram obtidos para o tratamento T3, seguido dos tratamentos T2 e T1 (solo natural), diferentes entre si, sendo os menores valores relacionados aos tratamentos T4 e T6, seguidos do T5.

Com relação à contração axial dos corpos-de-prova de solo argiloso tratado com “água-de-cola” e cal (Figura 4), os maiores valores foram obtidos para os tratamentos T4, T1 (solo natural) e T5, e os menores, para os tratamentos T3 e T2, iguais entre si, e o tratamento T6.

### **Segundo ciclo**

No caso do solo argiloso e solo argiloso tratado com cal e “água-de-cola” (Figura 96), o maior valor de expansão axial foi apresentado pelo tratamento T1, seguido dos tratamentos T2, T4, T6, T3 e T5, em ordem decrescente.

O maior valor de contração do solo argiloso e solo argiloso tratado com cal e com “água-de-cola” concentrada (Figura 98) foi obtido para os tratamentos T1 (solo natural) e T2, seguidos dos T6, T4 e T3, sendo o menor valor alcançado pelo tratamento T5.

### **Terceiro ciclo**

Com relação às expansões apresentadas pelos corpos-de-prova de solo argiloso e solo argiloso tratado com cal e 15% de “água-de-cola” (Figura 100), verificou-se que o maior valor foi obtido para o tratamento T1 (solo natural), seguido dos tratamentos T2 e T4, praticamente idênticos, e T6 e T3, e sendo o menor valor obtido para o tratamento T5.

Com relação à contração (Figura 102) dos corpos-de-prova de solo argiloso e solo argiloso tratado com cal e “água-de-cola”, o maior valor foi obtido para o tratamento T1 (solo natural), seguido dos tratamentos T2 e T4; os menores valores foram apresentados pelos tratamentos T5, T6 e T3.

### **Quarto ciclo**

Com relação aos valores de expansão apresentados pelos corpos-de-prova de solo argiloso e solo argiloso tratado com cal e “água-de-cola” (Figura 104), os menores valores foram alcançados pelos tratamentos T5, T6 e T3, seguidos de T4, T2 e, por último, com o maior valor, o tratamento T1 (solo natural).

Com relação às medições de contração axial dos corpos-de-prova de solo argiloso e solo argiloso tratado com cal e “água-de-cola” (Figura 106), os menores valores obtidos foram para os tratamentos T5, T6 e T2, seguidos de T4 e T3, e todos inferiores ao solo natural (T1).

Analizando ciclo a ciclo, observa-se que, no que se refere à expansão, o tratamento do solo argiloso e solo-cal com “água-de-cola” conduziu a maiores valores, enquanto que, para o solo natural, o valor obtido está dentro dos limites estabelecidos para o ensaio CBR com corpos-de-prova confinados e embebidos por 96 h (DER-SP, 1991).

De um modo geral, os menores valores de expansão, para o solo argiloso, foram apresentados pelo tratamento T5, seguido de T6 e T4; os maiores valores, pelos tratamento T2, T1 (solo natural) e T3.

Em relação à contração axial dos corpos-de-prova de solo argiloso e solo argiloso adicionado de cal e tratado com “água-de-cola”, os menores valores foram apresentados pelo tratamento T5, seguido de T6 e T4, T2 e T3, todos com valores inferiores à testemunha (solo natural). Os tratamentos com cal e diferentes doses de “água-de-cola” aplicados aos solos argiloso e arenoso promoveram uma estabilização volumétrica dos corpos-de-prova, avaliada pelos baixos valores de expansão e contração axiais.

## **4. CONCLUSÕES**

Com dados obtidos, interpretados e analisados estatisticamente, pode-se chegar às seguintes conclusões:

- os teores de umidade dos corpos-de-prova submetidos aos ensaios de tração na compressão diametral, após a realização dos ensaios de durabilidade por molhamento e secagem, foram inferiores aos teores de umidade ótimos de compactação;
- durante todos os ciclos alternados de molhamento e secagem, os teores de umidade dos corpos-de-prova em ensaio não sofreram grandes variações;
- a resistência à tração na compressão diametral de corpos-de-prova de solo argiloso adicionado de cal e tratado com “água-de-cola”, determinada logo após a realização do ensaio de durabilidade, apresentou valores superiores à resistência dos corpos-de-prova curados em câmara úmida;
- corpos-de-prova de solo argiloso reagiram melhor ao ensaio de durabilidade, não se desfazendo, quando imersos em água, e apresentando menor incidência de trincas;
- sob qualquer aspecto considerado, os corpos-de-prova de solo argiloso apresentaram os maiores valores de expansão e contração axiais do que os de solo arenoso;
- a partir do segundo ciclo de molhamento e secagem do ensaio de durabilidade, os valores de expansão e contração axiais se estabilizaram;

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- \_\_\_\_\_ -NBR-10004: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1987. 63p.
- \_\_\_\_\_ -NBR-07182: Solo-ensaio normal de compactação. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984. 2p.
- MARCON, A. F. – Durabilidade e módulo de elasticidade de misturas areia-cal-cinza volante. Rio de Janeiro-RJ, (Dissertação de Mestrado) COPPE/UFRJ, 1979.
- SILVA, M. A. M. e CERATTI, J. A P. – Estudo da utilização de cinzas volantes do Rio Grande do Sul na estabilização de um solo residual. In: Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia. Rio de Janeiro, 1981. COPPE/UFRJ – CNPq - ABMS. p.508-523.