

II-495 - ESTUDO DA CONTRAÇÃO DE LODOS PROVENIENTES DE DIGESTÃO ANAERÓBIA

Sara Rachel Orsi Moretto ⁽¹⁾

Bacharel em Física pela PUC-SP. Mestre em Eletrônica e Telecomunicações/Materiais pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Professora Adjunta da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Juliana Tiemy Kuvada

Tecnóloga em Processos Ambientais pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR.

Rogério Francisco Küster Puppi

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Paraná. Mestre em Geotecnia pela PUC Rio. Doutor em Métodos Numéricos pela Universidade Federal do Paraná. Professor Adjunto da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Eduardo Sabino Pegorini

Engenheiro agrônomo pela Universidade Federal do Paraná. Mestre em Ciência do Solo/Recursos Naturais. Coordenador Industrial da Unidade de Tratamento de Esgoto da Região Metropolitana de Curitiba da Companhia de Saneamento do Paraná.

Endereço ⁽¹⁾: Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Av. Sete de Setembro 3165 – Centro - Curitiba – PR – CEP: 80230-901 – Brasil – Tel: 55(41)33104639. e-mail: rachel@utfpr.edu.br

RESUMO

O presente trabalho busca analisar a contração de lodos provindos de tratamento biológico através reatores UASB, que passaram por processo de centrifugação e sujeitos à secagem natural. Desta forma, foram obtidas curvas que fornecem a variação do volume de pequenas amostras de lodo, que passaram pelo processo de centrifugação, em função do teor de sólidos totais e em função da umidade gravimétrica destas amostras. Foi também realizada a medida do limite de contração para amostras deste lodo, através de metodologia usual para solos, de forma a se poder comparar o valor do limite de contração medido, com o sugerido pelas curvas de variação de volume. Observou-se uma grande similaridade entre o limite de contração medido e o sugerido pelas curvas de variação de volume. O grau de contração, ou seja, a variação volumétrica do lodo com relação ao volume inicial, até o limite de contração, está por volta de 55%.

PALAVRAS-CHAVE: Contração de Lodos, Secagem Natural, Gestão de ETE.

INTRODUÇÃO

A quantificação do volume de lodo é importante em diversas etapas do tratamento, como por exemplo, no descarte, após desaguamento, e na disposição final. Lodos que sofreram desaguamento podem ainda permanecer por alguns meses em pátios de cura e secagem para a redução de patógenos em níveis aceitáveis, quando estes lodos são destinados à agricultura, e/ou para a redução complementar de volume e massa, pela secagem natural. Os custos de manuseio e transporte, para a destinação final, são normalmente calculados com base no volume úmido, porém muitas vezes se faz o cálculo com base na massa seca do lodo, para efeito comparativo entre alternativas (FERNANDES et al., 2001). Assim, a fim de melhor gerir os espaços físicos tão disputados de uma ETE, e de diminuir os custos de transporte para a destinação final do lodo, é importante que se conheça o menor volume atingido por uma massa úmida de lodo (e o teor de sólidos totais ou de umidade correspondentes), conforme esta massa perde umidade por secagem natural.

O processo de contração de um solo é causado pelas forças de tensão superficiais nas interfaces ar – água, na superfície de um solo. Conforme a água evapora, a camada dupla difusa contrai, fazendo com que as partículas do solo fiquem mais próximas. A magnitude da variação do volume depende da estrutura do solo, da forma dos agregados, da porosidade e distribuição dos tamanhos dos poros e da natureza e quantidade de matéria argilosa. A contração normal ocorre quando a variação do volume do solo é igual ao volume de água retirada do solo, e continua até o ponto que ocorre uma forte interação entre partículas, de forma que uma contração adicional é causada pela compressão e orientação de partículas, e não mais pela variação do volume do solo. Neste momento, o ar penetra na amostra e ocorre uma redução na inclinação da reta. A umidade do ponto B

da Figura 1 representa a umidade gravimétrica na qual o ar penetra no solo, e corresponde ao limite de contração (U_{LC}). A magnitude da contração a partir deste ponto (contração residual) depende das propriedades do solo (LAL; SHUKLA, 2004).

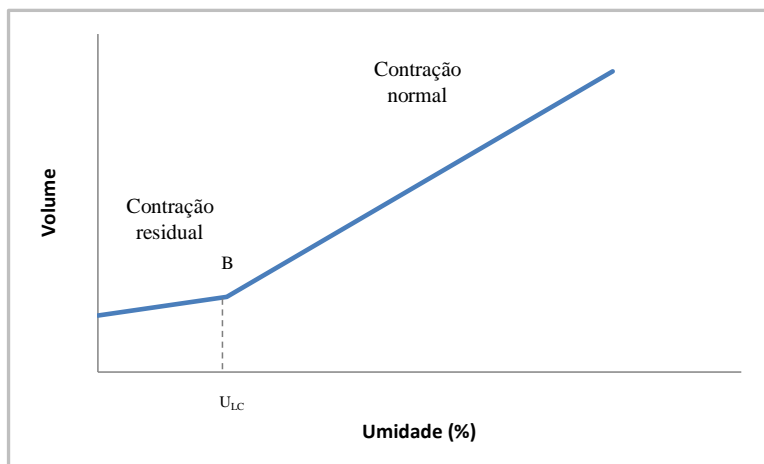


Figura 1: Curva característica de contração de um solo.

O limite de contração (U_{LC}) representa a umidade gravimétrica correspondente ao limite inferior do volume, abaixo da qual não há mais decréscimo do volume do solo, conforme a água é evaporada, durante o processo de secagem. Corresponde à umidade gravimétrica na qual o solo passa do estado semissólido para o estado sólido, e o volume do sólido permanece constante com a secagem progressiva (LAL; SHUKLA, 2004). Como a umidade gravimétrica é definida como a razão entre a massa de água e a massa de sólidos da amostra, o limite de contração é fornecido pela equação (EMBRAPA, 1997):

$$U_{LC} = \rho_{ag} \times \left(\frac{V}{M_s} - \frac{1}{\rho_p} \right) \times 100 (\%) \quad (1)$$

Onde ρ_{ag} é a densidade da água, V é o volume do entorno da amostra totalmente seca, M_s é a massa total das partículas sólidas da amostra e ρ_p é a densidade de partículas desta amostra.

Define-se a densidade de partículas ρ_p , como a razão entre a massa total das partículas sólidas, M_s , pelo volume destas partículas, V_s , excluindo-se os espaços porosos entre as mesmas, tal que:

$$\rho_p = \frac{M_s}{V_s} \quad (2)$$

A relação entre o limite de contração e o teor de sólidos (TS) correspondente é obtida pela relação abaixo:

$$TS = \frac{100}{\frac{U_{LC}}{100} + 1} (\%) \quad (3)$$

O objetivo geral do presente trabalho é estudar a contração de lodos gerados por reatores UASB, decorrente da secagem natural, após terem sido sujeitos ao desaguamento mecânico por centrifuga. Como consequência, buscou-se 1) Levantar curvas que forneçam a variação do volume de amostras de lodo, que passaram pelo processo de centrifugação, em função do teor de sólidos totais e em função da umidade gravimétrica destas amostras, 2) Medir o limite de contração através de metodologia usual para solos, 3) Comparar o valor do limite de contração medido, com o sugerido pelas curvas de variação de volume.

MATERIAIS E MÉTODOS

A ETE CIC Xisto realiza tratamento biológico de esgoto através de sete reatores UASB, cuja vazão média para cada reator é de 70 L/s, e pós-tratamento em lagoa de sedimentação, atendendo uma população total de 320

mil pessoas. Os efluentes dos reatores seguem para a lagoa de sedimentação, enquanto o lodo descartado segue para um adensador, cuja função atual tem sido apenas receber e homogeneizar, através de um mixer eletromecânico, o lodo descartado, que seguirá para o desaguamento mecânico, realizado por uma centrífuga. O lodo recebe a adição de polímero catiônico na proporção de 2 a 3 kg por tonelada de massa seca. Nos procedimentos normais da estação, após passar pela centrífuga, o lodo desaguado recebe aproximadamente 0,5 t de cal dolomítica, para cada tonelada de massa seca do lodo centrifugado e, posteriormente, é conduzido para uma baía de estocagem temporária. Mensalmente, quando a baía está totalmente preenchida, o lodo é disposto no pátio de cura e secagem através de retroescavadeiras, e cada lote disposto recebe uma adição superficial de cal, permanecendo no pátio por um período de aproximadamente quatro meses (um mês para caleação – quando a caleação não ocorre automaticamente, um mês para cura, um mês para a chegada das análises laboratoriais específicas para a utilização agrícola, e um mês para busca de locais apropriados para a disposição, carregamento e aplicação).

No caso específico deste experimento, com o intuito de diminuir variáveis que viessem interferir na densidade do lodo, optou-se por não adicionar cal à massa de lodo após a centrifugação.

Na metodologia aqui proposta, foram extraídas pequenas amostras (aproximadamente 32,00 cm³ cada) coletadas na saída da centrífuga, após a centrifugação, e que foram encaminhadas para um recinto coberto, mas arejado, onde a cada dia um número fixo de amostras (4) era escolhido aleatoriamente do conjunto para ser analisado e depois descartado, de forma que num período de 10 dias, as amostras restantes estavam praticamente secas. Por uma questão de praticidade, os lodos (amostras) provindos do ambiente coberto e arejado serão denominados lodos sólidos.

Coleta do Lodo Após Centrifugação

Com uma bandeja (50cm x 35cm x 10cm) bem próxima à saída da centrífuga, deixou-se o lodo cair sobre ela, até que grande parte da bandeja fosse preenchida. Cerca de 10 anéis de alumínio, com volumes (em torno de 55 cm³) e massas aferidas, e com uma das extremidades cortantes, eram introduzidos manualmente na massa de lodo pelo lado cortante, até que o lodo extravasasse pela extremidade superior. A massa ao redor dos anéis era retirada com uma espátula, e esta mesma espátula era introduzida por baixo dos anéis, a fim de retirá-los da bandeja. Com uma espátula cortante, a massa de lodo que extravasou a extremidade superior de cada um dos anéis era retirada e uma lâmina de vidro (9cm x 9cm) era colocada nesta extremidade a fim de vedá-la. Os anéis preenchidos eram virados e limpos, e suas massas medidas em balança digital (resolução 0,01g).

O teor de sólidos totais, para o conjunto de amostras retiradas de uma bandeja, foi determinado através da média realizada sobre os teores de sólidos medidos para quatro pequenas amostras extraídas aleatoriamente da bandeja.

Conhecendo-se a massa de cada uma das amostras extraídas com os anéis, e conhecendo-se o teor de sólidos totais atribuído ao conjunto no momento da amostragem, pôde-se calcular a massa de sólidos contida em cada uma destas amostras. Todo procedimento descrito acima foi repetido mais três vezes, de forma a se obter um total de 40 amostras de lodo, na saída da centrífuga.

Lodo Sólido

As 40 amostras de lodo coletadas após centrifugação foram transportadas no mesmo dia (29/01/12) para um pequeno local coberto (2m x 2m x 2m), com uma das paredes abertas, onde as amostras ficaram dispostas sobre uma prateleira. No primeiro dia após a coleta, os anéis de todas as amostras foram cuidadosamente retirados, ficando as mesmas apenas sobre suas lâminas de vidro. Estudos preliminares mostraram que a extração dos anéis, logo nos primeiros dias de secagem, permite uma perda de umidade mais rápida e uniforme. Do conjunto de amostras, 4 foram escolhidas aleatoriamente para a determinação do volume e massa. A medida da massa foi realizada em balança digital (resolução 0,01g) e o volume foi medido através de um paquímetro digital (8 medidas de diâmetro e 8 medidas de altura por amostra). Igual procedimento foi adotado no segundo dia, e a partir do terceiro dia, além da medida do volume através do paquímetro digital, mediu-se também o volume das amostras, envolvendo-as com parafina fundida e pendurando-as, depois de secas, num suporte, utilizando um fio bem fino, e imergindo-as em um recipiente com álcool etílico (92,8°), disposto sobre uma balança digital. A medida obtida pela balança (resolução 0,01g) corresponde ao valor do empuxo sofrido pelo corpo, dividido pela aceleração da gravidade, que é igual ao produto entre a densidade do fluido e o volume do fluido

deslocado ou volume da amostra. A densidade do álcool etílico foi determinada através de um picnômetro de 100 ml.

As medidas de volume utilizando a parafina passaram a ser realizadas a partir do terceiro dia, pois somente a partir daí, as amostras apresentaram consistência adequada para o tipo de manipulação descrito. Após as medidas de volume, as amostras eram descartadas, uma vez que a impermeabilização com a parafina não permitia a continuidade da secagem natural da amostra.

Num período de 10 dias, todas as amostras foram analisadas, uma vez que se mediu o volume e massa de quatro amostras por dia. Já se sabia previamente que este número de dias, na época do ano que os experimentos foram realizados, era suficiente para secar as pequenas amostras quase que completamente.

A medida do teor de sólidos de cada amostra analisada foi determinada através do conhecimento prévio da massa seca contida nesta amostra (procedimento descrito anteriormente) e da massa úmida da mesma no momento da análise. Adotou-se este critério devido à inviabilidade de secar naturalmente ou em estufa, amostras envolvidas com parafina.

Medidas da Densidade de Partículas

A medida da densidade de partículas (equação (2)), necessária para a obtenção do limite de contração, foi determinada para 6 amostras de lodo provindo da centrifugação. A massa deste lodo foi seca em estufa (a 105 °C) até atingir massa constante e, após ter sido degranulada e passada em peneiras de 2 mm, quantidades de aproximadamente 5 g, medidas em balança digital (resolução 0,01g), eram introduzidas em balões volumétricos de 50 ml. O volume da massa sólida introduzida em cada um dos balões foi obtido através da medida do volume de álcool etílico (92,8°), necessário para completar o volume aferido (50 ml) do balão volumétrico. Durante a introdução de álcool, disposto em uma bureta de 50 ml, os balões eram agitados cuidadosamente, para eliminar as bolhas de ar que se formavam. A metodologia utilizada para esta medida foi baseada na metodologia para solos, Densidade de Partículas - Método do Balão Volumétrico (EMBRAPA, 1997).

Medidas do Limite de Contração

O ensaio foi realizado com 6 amostras de lodo, extraídas diretamente da massa de lodo recém-centrifugada. Estas amostras, já saturadas naturalmente, foram inseridas aos poucos em cápsulas metálicas (aproximadamente 24,00 cm³), lubrificadas com vaselina, batendo-as sobre uma tábua de madeira, de modo a espalhar uniformemente a massa na capsula e eliminar as bolhas de ar formadas. As capsulas totalmente preenchidas com lodo foram levadas à estufa a 105 °C, até atingirem massa constante. As massas destas amostras secas foram medidas em balança digital (resolução 0,01g) e os volumes das mesmas foram determinados pela medida da massa de mercúrio transbordada, quando estas amostras eram inseridas e empurradas para dentro de um recipiente totalmente preenchido com mercúrio. Isto era feito com a ajuda de uma placa plana acrílica com três pinos. Os volumes das cápsulas metálicas também foram determinados pela massa de mercúrio que preenchia completamente estes recipientes. Medidas da temperatura ambiente foram tomadas durante o ensaio, para determinar a densidade do mercúrio, necessária para os cálculos de volume da capsula e das amostras secas. A densidade da água, utilizada diretamente na expressão (1) que determina o limite de contração, foi obtida através de um picnômetro de 100 ml.

Os ensaios de limite de contração foram baseados na metodologia para solos, Limite de Contração – Método do Mercúrio Metálico (EMBRAPA, 1997), com algumas adaptações, uma vez que esta metodologia recomenda que o solo, após secagem, seja passado em peneira de 0,42 mm, antes de ser saturado com água para formar as amostras. A tentativa de seguir esta recomendação resultou em insucesso, uma vez que as amostras após a secagem não apresentavam coesão, se desmanchando em pó com o manuseio. Desta forma, resolveu-se proceder conforme o descrito anteriormente.

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra as variações na altura (h), diâmetro (d) e volume (V) das amostras dispostas em local aberto, durante a secagem, com relação aos respectivos valores encontrados no dia da coleta (h_0 , d_0 e V_0), que correspondem às dimensões dos anéis utilizados para a obtenção das amostras. Os valores de d, h e V foram obtidos através do paquímetro digital. Pode-se notar, através desta figura, que as variações nas grandezas h/h_0 e d/d_0 estão muito próximas, indicando que as amostras contraíram de forma parecida nas três dimensões.

Quando se divide a variação relativa dos volumes $(V_0 - V)/V_0$, pelas variações relativas da altura $(h_0 - h)/h_0$ ou diâmetro $(d_0 - d)/d_0$, sofridos pelas amostras, o valor médio encontrado é aproximadamente 2,5 nos dois casos.

Medidas do limite de contração resultaram em um valor de $71,0 \pm 0,2 \%$, que corresponde a um teor de sólidos totais de $58,5 \pm 0,4 \%$. Pela Figura 2 é possível verificar que todas as curvas tendem a assumir valores praticamente constantes, a partir de teores de sólidos próximos a 60%. Outras medidas de limite de contração, realizadas com lodos desta mesma estação, revelam valores bastante próximos aos encontrados, como $66,0 \pm 2,2 \%$, para o limite de contração e $60,3 \pm 1,0 \%$, para o teor de sólidos totais correspondente (MORETTO et al., 2011), o que faz crer que a metodologia utilizada para a obtenção do limite de contração (Método do Mercúrio Metálico) é bastante adequada.

Para a medida de limite de contração adotada, utilizou-se a densidade de partículas encontrada experimentalmente, que foi $1,65 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$. Este valor também está próximo de valores encontrados para lodos desta estação, como $1,74 \pm 0,04 \text{ g/cm}^3$ (MORETTO et al., 2011).

O pH e o teor de sólidos voláteis da massa de lodo analisada são, respectivamente, 7,55 e 54%.

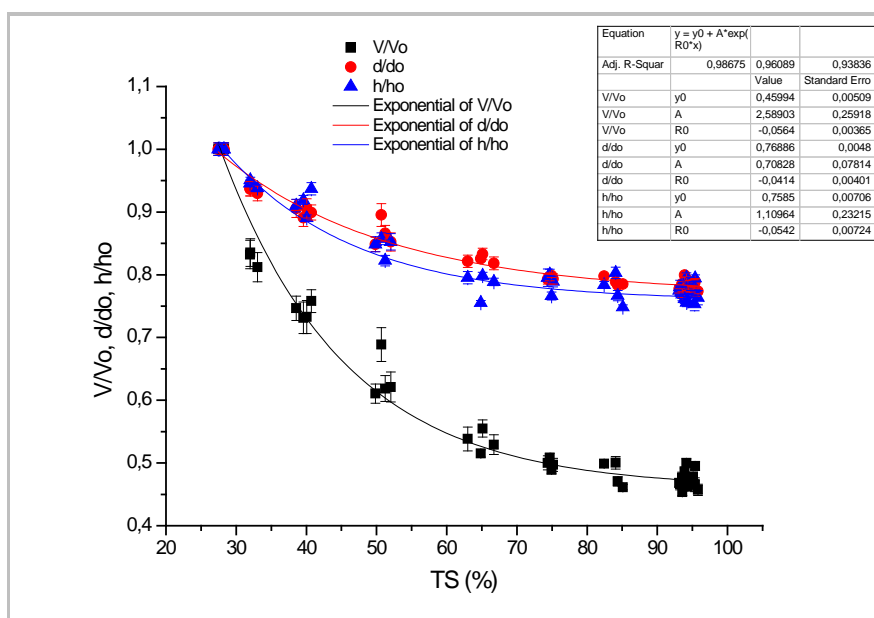


Figura 2: Gráfico das variações de h/h_0 , d/d_0 e V/V_0 das amostras durante a secagem.

A Figura 3 mostra a razão dos volumes das amostras durante a secagem pelos respectivos volumes iniciais, quando estes volumes são medidos através do paquímetro e pela parafina. Até teores de sólidos em torno de 65% as duas curvas apresentam valores bem semelhantes, mas a partir deste valor, o volume medido pela parafina continua decrescendo, alcançando valores até 16% menores que o volume medido pelo paquímetro, para teores de sólidos em torno de 95%. Conforme as amostras vão secando, a porosidade do lodo vai aumentando, assim como o poder de penetração da parafina. Desta forma, as medidas de volume com a parafina vão tendendo à medida do volume da massa sólida da amostra e não mais à medida do volume aparente (volume do entorno da amostra). Se por um lado as medidas de volume com a parafina são uma boa alternativa para amostras que apresentam rachaduras, para amostras muito secas a medida do volume aparente pode ficar duvidosa. Uma vez que os limites para a medida do volume aparente através da parafina, para teores de sólidos mais altos, não estão bem claros, considerou-se apenas as medidas do volume medido através do paquímetro, para todos os teores de sólidos, embora diversas amostras tivessem apresentado algum tipo de trinca ou pequena rachadura, cujo volume não foi descontado do volume total medido pelo paquímetro.

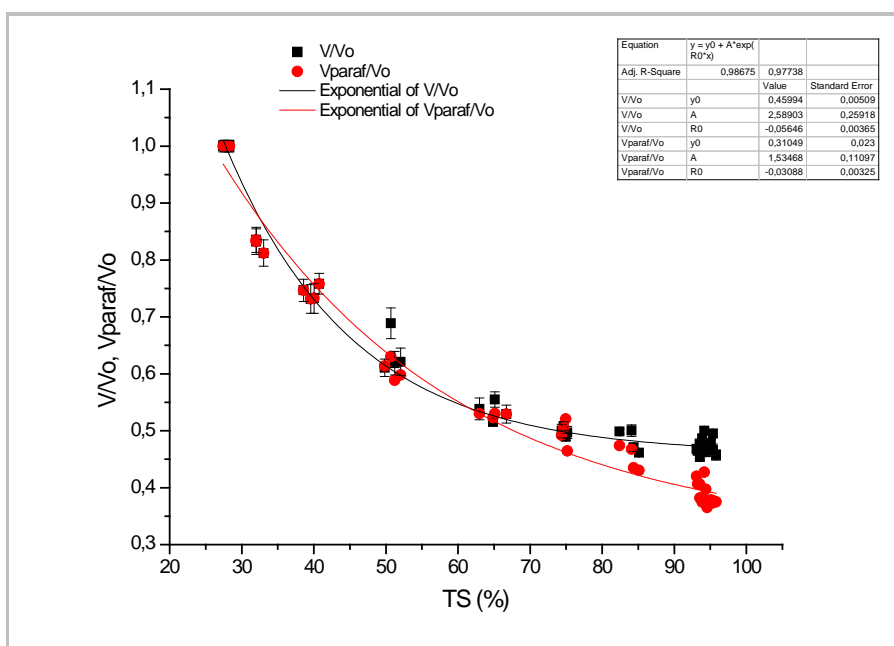


Figura 3: Gráfico razão dos volumes das amostras pelos respectivos volumes iniciais, quando estes volumes são medidos através do paquímetro e pela parafina.

A Figura 4 representa a variação de V/V_0 sofrida pelas amostras durante a secagem, em função da umidade gravimétrica. Observa-se nesta Figura um comportamento análogo ao observado experimentalmente para diversos solos, ou seja, V/V_0 para as amostras de lodo decresce linearmente com a redução da umidade e a partir de valores de umidade próximos a 70% (valor da umidade gravimétrica medida experimentalmente (EMBRAPA, 1997)), a reta reduz consideravelmente a inclinação.

O grau de contração, ou seja, a variação volumétrica do lodo com relação ao volume inicial, até o limite de contração, está por volta de 55%. Este fato também é observado na Figura 2.

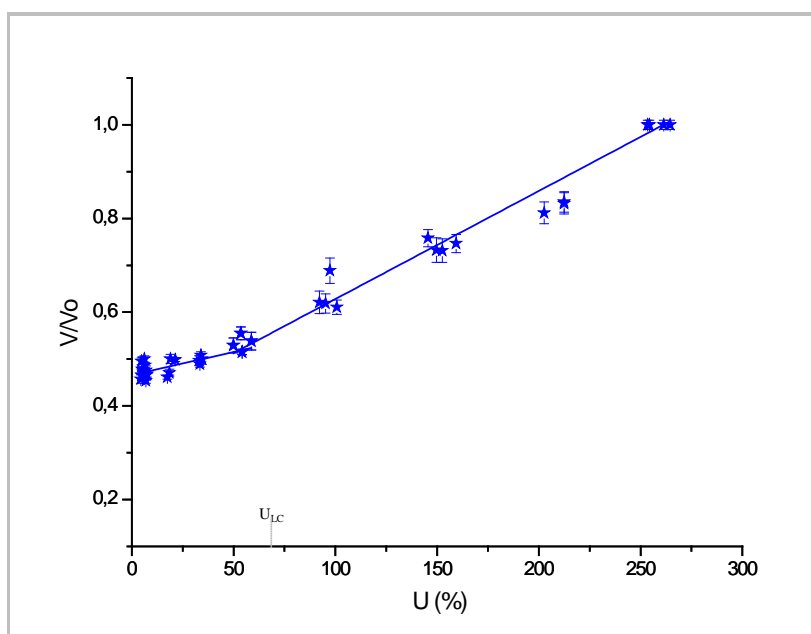


Figura 4: Curva de contração do lodo.

CONCLUSÕES

Observa-se grande coerência entre o valor do limite de contração (71,0%) obtido experimentalmente, e os valores apontados pelas Figuras 2 e 4, ou seja, o teor de sólidos correspondente ao limite de contração (próximo de 60%) é o ponto em torno do qual a altura, diâmetro e volume das amostras tendem a ficar constantes (Figura 2) e, conforme Figura 3, nas proximidades da umidade gravimétrica 70% a inclinação da reta na curva de contração, sofre uma redução. Além disso, o valor do limite de contração encontrado é próximo de outras medidas realizadas com amostras desta mesma estação. O grau de contração sofrido pelas amostras durante a secagem foi de 55%, ou seja, este resultado fornece uma estimativa da redução máxima de volume que os lodos dispostos na estação podem estar sujeitos, devido à secagem natural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Rio de Janeiro. 1997.
2. FERNANDES F.; LOPES D. D.; ANDREOLI C.V.; SILVA S.M.C.P. Avaliação de alternativas e gerenciamento do lodo na ETE. In: Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. DESA-UFMD-SANEPAR. Belo Horizonte, 2001. vol. 6.
3. LAL R.; SHUKLA M. K. Principles of soil physics. New York. Marcel Dekker, Inc. 2004.
4. MORETTO S. R. O.; PUPPI R. F. K.; PEGORINI E. S. Análise do comportamento da densidade do lodo de ETE sujeito à secagem natural após centrifugação. In: XXXIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Salvador. 2012.