

Novo equipamento para realização de ensaios de fluência simultaneamente confinados e acelerados

Fagner Alexandre Nunes de França

Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil, fagner@sc.usp.br

Benedito de Souza Bueno

Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil, bsbueno@sc.usp.br

Jorge Gabriel Zornberg

University of Texas at Austin, Austin, Estados Unidos, zornberg@mail.utexas.edu

RESUMO: A caracterização da fluência dos geossintéticos é comumente feita a partir de ensaios padronizados. Apesar do seu uso extenso, dois aspectos negativos deste procedimento podem ser destacados. Primeiramente, os ensaios podem durar até 10.000 horas. Adicionalmente, uma vez que são utilizadas amostras em isolamento, estes ensaios não reproduzem o efeito do confinamento do solo, presente em muitas das obras geotécnicas onde os geossintéticos são utilizados. Ensaios de fluência conduzidos em temperaturas elevadas podem acelerar a determinação da fluência dos geossintéticos. Além disso, ensaios realizados em câmaras adaptadas permitem reproduzir o efeito do confinamento do solo. A literatura técnica apresenta resultados obtidos em ensaios de fluência modificados de forma a considerar cada um destes aspectos negativos, individualmente. Este estudo apresenta um novo equipamento capaz de realizar ensaios de fluência simultaneamente confinados e acelerados. O novo equipamento possui cinco sistemas diferentes, responsáveis pelo carregamento e determinação das deformações do corpo de prova, pela elevação da temperatura, pela reprodução do confinamento do solo e pela aquisição dos dados. Dessa forma, quatro tipos de ensaios de fluência puderam ser executados (convencionais, confinados, acelerados e confinado-acelerados), a depender da condição desejada. Os ensaios convencionais de fluência foram realizados com a aparelhagem padronizada de forma a produzir resultados comparáveis com a prática atual. O novo equipamento foi avaliado a partir de ensaios realizados com um geotêxtil não tecido, manufaturado com filamentos contínuos de poliéster. Os ensaios acelerados de fluência foram realizados em duas temperaturas diferentes (38°C e 58°C). Os corpos de prova utilizados nos ensaios confinados de fluência foram confinados em areia seca e submetidos a 50 kPa de tensão normal. O novo equipamento permitiu verificar a influencia de ambos os parâmetros (temperatura de ensaio e confinamento do solo) no comportamento de fluência do geossintético estudado. Os resultados ilustram a importância de verificar a efeito do confinamento do solo na fluência dos geossintéticos, além do uso de temperaturas elevadas para acelerar a sua determinação.

PALAVRAS-CHAVE: Geossintéticos, Fluência, Confinamento, Temperatura.

1 INTRODUÇÃO

A etapa de projeto de obras de solo reforçado com geossintéticos considera fatores de redução aplicados à resistência à tração do material. Assim, a resistência à tração de projeto é calculada como uma parcela da resistência à tração obtida em ensaios de curta duração. O fator de redução devido à fluência destaca-se,

em muitos casos, como o mais influente. Ele é determinado a partir de ensaios normalizados onde corpos de prova são submetidos a um esforço de tração constante e suas deformações são determinadas ao longo do tempo. Os ensaios de fluência também podem ser utilizados para inferir o comportamento de campo do geossintético em longo prazo, antes mesmo da construção da respectiva obra.

Assim, percebe-se que a caracterização da fluência dos geossintéticos tem um papel fundamental na definição tanto da resistência à tração de projeto como no próprio comportamento da estrutura de solo reforçado.

Apesar de amplamente utilizados, os ensaios padronizados de fluência em geossintéticos apresentam dois aspectos negativos. Primeiramente, são ensaios longos, que podem durar até 10.000 h. Em adição a isso, eles não consideram o efeito do confinamento do solo, uma vez que são usados corpos de prova em isolamento. Estes dois fatores podem levar a elevação dos custos dos ensaios e a produção de resultados conservadores, respectivamente.

Os ensaios de fluência normalizados realizados em temperaturas elevadas aceleram a caracterização da fluência dos geossintéticos. Os resultados destes ensaios podem ser interpretados por meio de técnicas de superposição tempo-temperatura. Em outras palavras, as deformações ocorridas em temperaturas elevadas são consideradas em temperatura ambiente, em uma escala de tempo diferente. Assim, uma série de ensaios de fluência com mesmo carregamento, executados em diferentes temperaturas, é interpretada como um ensaio em temperatura ambiente com maior duração. Diversos estudos foram publicados sobre a aceleração da fluência de geossintéticos por meio da elevação da temperatura (Jeon et al., 2002; Zornberg et al., 2004; Bueno et al., 2005; Jones e Clark, 2007; Tong et al., 2009; Yeo et al., 2009). Adicionalmente, a norma ASTM D 6992 apresenta o procedimento para aceleração da fluência de geossintéticos a partir de ensaios realizados com um único corpo de prova, inicialmente desenvolvido por Thornton et al. (1998). Percebe-se, portanto, que a aceleração dos ensaios de fluência por meio da elevação da temperatura é uma metodologia bem estabelecida na literatura técnica.

O comportamento de tensão-deformação dos geossintéticos pode ser fortemente dependente do confinamento do solo. Elias et al. (1998) sugere que a restrição dos movimentos das fibras ou filamentos do geossintético, causada pela interação com o solo, pode provocar tal comportamento. Assim, esperam-se diferentes graus de influência do confinamento do solo no

comportamento de tensão-deformação dos geossintéticos de acordo com sua classificação. Essa influência do solo é, portanto, relatada mais fortemente em geotêxteis não tecidos, seguidos pelos geotêxteis tecidos e pelas geogrelhas. Contudo, Elias et al. (1998) sugere que qualquer geossintético deve ter seu comportamento tensão-deformação confinado caracterizado antes do uso em obras.

A fluência dos geossintéticos apresenta um comportamento semelhante à tensão-deformação no tocante à influência do confinamento do solo. Assim, a realização de ensaios em câmaras adaptadas, onde o corpo de prova é submetido ao confinamento do solo, permite a avaliação da fluência dos geossintéticos sob essa condição. Esse tipo de adaptação permite verificar o comportamento de fluência dos geossintéticos em condições de confinamento em solo e foi utilizado em diversos estudos (McGown et al., 1982; Costa, 2004; Mendes et al., 2007; Ding, et al., 2009; Kamiji et al., 2009).

As duas modificações nos ensaios de fluência de geossintéticos foram realizadas com sucesso e publicadas na literatura técnica. Contudo, a utilização simultânea dos dois procedimentos (elevação da temperatura e confinamento do corpo de prova) em um único ensaio ainda não foi avaliada. Dessa forma, este artigo apresenta um novo equipamento capaz de realizar ensaios de fluência simultaneamente confinados e acelerados em geossintéticos. Este novo equipamento foi desenvolvido no Laboratório de Geossintéticos do Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Paulo da Universidade de São Paulo. Os componentes do novo equipamento de fluência são descritos brevemente. Adicionalmente, são apresentados os resultados de quatro tipos de ensaios de fluência (convencional, confinado, acelerado e confinado-acelerado) realizados em um geotêxtil não tecido de poliéster.

2 NOVO EQUIPAMENTO

O novo equipamento foi desenvolvido para a realização de ensaios de fluência simultaneamente, ou não, confinados e acelerados em geossintéticos. Dessa forma, ele

é equipado com cinco sistemas, responsáveis pela aplicação do carregamento, medição do alongamento do corpo de prova, reprodução do confinamento do solo, elevação da temperatura de ensaio e aquisição dos dados. A Figura 1 apresenta um esquema do novo equipamento.

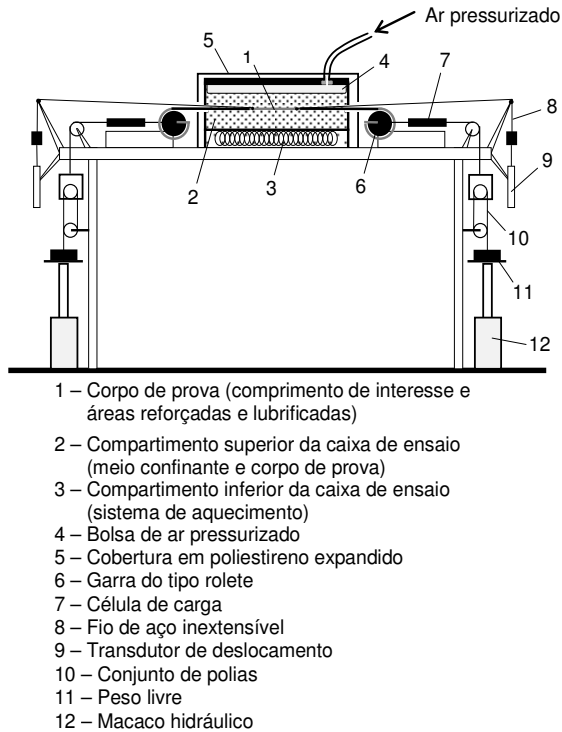


Figura 1. Vista lateral esquemática do novo equipamento de fluência.

Os corpos de provas utilizados nos ensaios de fluência realizados no novo equipamento foram previamente preparados e reforçados em suas extremidades. Adicionalmente, são empregadas geomembranas lubrificadas com vaselina industrial para evitar o contato entre as porções reforçadas dos corpos de prova e o meio confinante. O procedimento de preparação dos corpos de prova será explicado no item 2.6.

Os corpos de prova são posicionados na parte superior da câmara de ensaio (400 x 400 x 250 mm, B x B x H e paredes com 12,5 mm de espessura). Esta parte pode ou não ser preenchida com o meio confinante para a reprodução do confinamento do solo. Uma bolsa de ar pressurizado é posicionada sobre o solo e permite a aplicação de uma tensão vertical sobre o mesmo durante os ensaios.

O sistema de aquecimento localiza-se no

compartimento inferior da câmara de ensaio. Dois termopares permitem a programação da temperatura desejada e a medição do valor atingido nas proximidades dos corpos de prova (20 mm acima do geossintético). O sistema de carregamento permite a fixação do corpo de prova em duas garras do tipo rolete, que são conectadas por meio de cabos de aço a pesos livres, enquanto o alongamento é mensurado durante o ensaio. Adicionalmente, um conjunto de polias é utilizado para multiplicar o carregamento aplicado por cada garra. Por fim, o sistema de aquisição coleta e armazena os dados de temperatura de ensaio, carregamento aplicado e alongamento do corpo de prova.

A configuração do novo equipamento de fluência de geossintéticos permite a realização de quatro tipos de ensaios (convencional, confinado, acelerado e confinado-acelerado). Contudo, os ensaios convencionais de fluência foram conduzidos com a aparelhagem padronizada (ASTM D 5262) de forma a produzir resultados comparáveis com a prática atual.

2.1 Sistema de aplicação do carregamento

Os corpos de prova usados no novo equipamento são submetidos a um esforço de tração constante, aplicado por meio de duas garras do tipo rolete. Elas estão localizadas em ambos os lados do geossintético e posicionadas sobre trilhos. Rolamentos lubrificadas nos trilhos permitem o movimento horizontal das garras com atrito reduzido.

Foram utilizados pesos livres para a manutenção do carregamento durante os ensaios de fluência. Cabos de aço (3,2 mm de diâmetro e resistência nominal a tração igual a 4,45 kN) conectam os pesos livres às garras. Uma vez que pode haver atrito entre as partes móveis do novo equipamento, duas células de carga (capacidade igual a 4,90 kN) foram instaladas para o registro mais preciso do carregamento ao qual o corpo de prova é submetido. A Figura 2 apresenta uma vista dos itens do sistema de carregamento situados na porção superior de um dos lados do novo equipamento.

O sistema de carregamento foi calibrado para determinar a relação entre os pesos livres

utilizados e o esforço de tração ao qual o corpo de prova é submetido. Assim, as respostas das células de carga foram monitoradas enquanto carregamentos crescentes foram aplicados. Uma regressão linear média foi calculada a partir dos dados de cada célula de carga. A diferença máxima entre a leitura das células de carga e os valores estimados por esta regressão linear média são menores que 2,0%. Assim, essa equação foi utilizada como referência para o cálculo da quantidade de pesos livres a ser aplicada em cada ensaio. Em seguida, pequenas correções no carregamento foram realizadas a partir da aplicação de elementos metálicos ao total de pesos livres, de forma a manter o carregamento constante. A variação das leituras de carregamento foi menor que 3,2% em todos os ensaios.

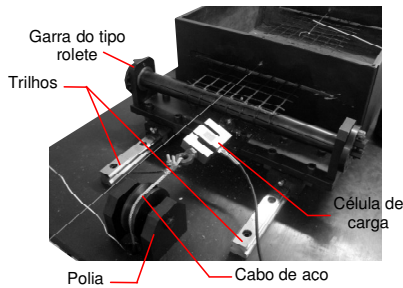


Figura 2. Componentes principais do sistema de carregamento.

2.2 Sistema de medição do alongamento do corpo de prova

O alongamento dos corpos de provas durante os ensaios de fluência realizados no novo equipamento foi registrado por dois transdutores de deslocamento. Fios de aço inextensíveis foram conectados a dois pontos no corpo de prova, situados no interior da câmara de ensaio. A utilização de pesos metálicos conectados a estes fios permitiu o registro do deslocamento destes dois pontos de fixação nos corpos de prova. Com o conhecimento da distância inicial entre esses dois pontos (L_0) e do deslocamento de cada um deles (A e B), puderam-se calcular as deformações dos corpos de prova durante os ensaios com a Equação 1.

$$\varepsilon = \frac{(A + B)}{L_0} \quad (1)$$

onde ε é a deformação do corpo de prova, A e B são os deslocamentos de cada ponto de fixação dos fios inextensíveis no corpo de prova e L_0 é a distância inicial entre esses pontos.

A estabilidade do sistema de medição do alongamento dos corpos de prova foi avaliada a partir de um teste no novo equipamento. Uma amostra do fio inextensível foi posicionada no equipamento, de um lado a outro, sem a utilização do corpo de prova. A temperatura no interior da câmara de ensaio foi elevada para 82°C por mais de 30 horas e o alongamento do fio inextensível foi acompanhado com os transdutores de deslocamento. O alongamento do fio registrado neste procedimento foi nulo.

A Figura 3 apresenta uma visão lateral do novo equipamento de fluência, com destaque ao transdutor de deslocamento, fio inextensível e elemento metálico situados em um dos lados do mesmo. Adicionalmente, dois elementos do sistema de carregamento (conjunto de polias e pesos livres) são mostrados na Figura 3.

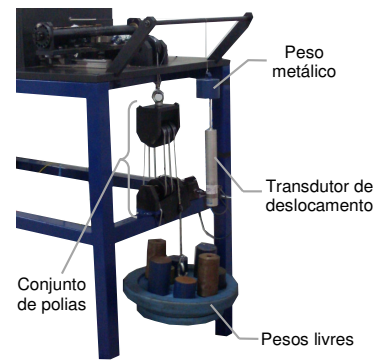


Figura 3. Vista lateral do novo equipamento de fluência.

2.3 Sistema de reprodução do confinamento do solo

A porção superior da câmara de ensaio do novo equipamento de fluência é preenchida com areia seca para a reprodução do meio confinante. Em seguida, uma bolsa de ar pressurizado é posicionada sobre a areia e a câmara de ensaio é fechada com uma tampa, que funciona como reação à pressão de ar aplicada no interior da bolsa. Um geotêxtil não tecido é utilizado entre a bolsa de ar e a areia como proteção. A pressão de ar é aplicada no interior da bolsa a partir de um painel que a conecta ao sistema de ar

pressurizado do laboratório. Optou-se por aplicar uma pressão de ar constante e igual a 50 kPa em todos os ensaios de fluência conduzidos com corpos de prova confinados em solo.

2.4 Sistema de aquecimento

Um sistema de aquecimento foi projetado no novo equipamento para conduzir ensaios de fluência em temperaturas elevadas. Ele é composto por três resistências elétricas (1.500 W cada), dois termopares, um controlador de temperatura com interface computacional e uma cobertura em poliestireno expandido. As resistências elétricas e um dos termopares (TP-1) são posicionados na parte inferior da câmara de ensaio, que é também preenchida com areia. TP-1 tem o propósito de controlar a temperatura das resistências elétricas. O segundo termopar (TP-2) é posicionado durante a montagem do ensaio, 20 mm acima do corpo de prova. Assim, a temperatura do corpo de prova foi considerada igual àquela registrada pelo TP-2. A câmara de ensaio é coberta com uma estrutura em poliestireno expandido ao término da fase de montagem do ensaio para reduzir as perdas de energia térmica para o ambiente.

O sistema de aquecimento foi calibrado com o propósito de verificar a diferença entre as leituras dos dois termopares. Assim, a partir da regressão linear dos dados obtidos, pôde-se verificar qual temperatura deve ser aplicada nas resistências elétricas (próximas a TP-1) para se obter uma determinada temperatura no corpo de prova (próximo a TP-2). Esse procedimento permitiu definir qual temperatura deve ser programada para atingir a temperatura desejada no corpo de prova.

2.5 Sistema de aquisição de dados

O sistema de aquisição de dados foi inserido ao novo equipamento de fluência para registrar as leituras dos transdutores de deslocamento, das células de carga e do sistema de aquecimento. Dois aparelhos diferentes, com interface computacional, foram utilizados. Um aquisitor de dados, modelo P3, manufaturado pela Vishay

Instruments® registra as leituras dos transdutores de deslocamento e das células de carga. Adicionalmente, as leituras de temperatura dos dois termopares são coletadas e armazenadas pelo próprio controlador, mencionado no item 2.4.

2.6 Preparação dos corpos de prova

Os corpos de prova utilizados no novo equipamento de fluência possuem 200 mm de largura e 1.100 mm de comprimento. Contudo, a porção de interesse de cada corpo de prova situa-se em sua parte central, com 100 mm de comprimento. Assim, a relação largura-comprimento é igual àquela recomendada nos procedimentos para ensaios de tração e fluência.

Dois segmentos de cada corpo de prova foram reforçados com um adesivo bicomponente e cobertos com uma folha de poliéster. Esse procedimento visou a redução das deformações nessas porções do corpo de prova. Adicionalmente, os segmentos reforçados dos corpos de prova foram colocados em contato com uma geomembrana de polietileno de alta densidade, com superfície lisa lubrificada, para redução do atrito fora do comprimento de interesse do corpo de prova. A Figura 4 ilustra o aspecto final dos corpos de prova.

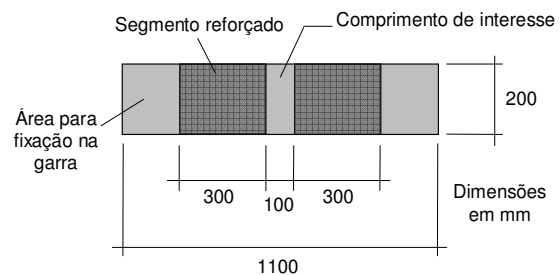


Figura 4. Aspecto final e dimensões dos corpos de prova.

3 ENSAIOS DE FLUÊNCIA

Três tipos de ensaios de fluência foram realizados para avaliar o novo equipamento: confinados, acelerados e confinado-acelerados. Os ensaios confinados de fluência se referem àqueles onde o corpo de prova está inserido em areia e é submetido a uma tensão normal ao longo do ensaio. Os ensaios acelerados

apresentam uma configuração semelhante aos ensaios convencionais, diferindo apenas na elevação da temperatura do corpo de prova. Por fim, os ensaios confinado-acelerados de fluência utilizam corpos de prova submetidos a ambas as medidas simultaneamente. Além disso, os ensaios convencionais (ASTM D 5262) foram conduzidos para caracterizar a fluência do geossintético estudado. As seções seguintes apresentam os materiais empregados nestes ensaios (areia e geossintético) e os ensaios realizados. Adicionalmente, os resultados destes ensaios são apresentados e discutidos brevemente.

3.1 Materiais utilizados

Os ensaios de fluência foram conduzidos em um geotêxtil não tecido de poliéster, fabricado com filamentos contínuos. Este geotêxtil foi escolhido por se tratar de um material que apresenta o comportamento de fluência dependente do confinamento do solo, como citado no item 1. Ensaios de caracterização deste material apontam espessura nominal igual a 2,36 mm (COV = 9,0%), gramatura de 254 g/m³ (COV = 0,1%), resistência à tração, no sentido transversal de fabricação, igual a 13,87 kN/m (COV = 11,2%) e deformação na ruptura de 59,57% (COV = 5,0%). Salienta-se que o carregamento aplicado nos ensaios de fluência refere-se a uma porcentagem da resistência à tração do geotêxtil no sentido transversal de fabricação.

O meio confinante utilizado nos ensaios de fluência consiste em uma areia seca mal graduada (SP), com coeficiente de curvatura e de uniformidade iguais a 1,01 e 1,40, respectivamente. Ensaios de caracterização foram realizados com este material e resultaram em peso específico dos sólidos igual a 26,7 kN/m³, peso específico seco máximo igual a 16,7 kN/m³ e peso específico seco mínimo igual a 15,0 kN/m³. Esta areia foi compactada no interior da câmara de ensaio com densidade relativa igual a 45%. A escolha deste valor baseou-se na elaboração de um procedimento de lançamento da areia que pôde ser repetido em todos os ensaios, sem o emprego de outros equipamentos. Adicionalmente, ensaios de

cisalhamento direto realizados nessa areia, em igual valor de densidade relativa, apontaram ângulo de atrito interno de pico e residual iguais a 34,4° e 27,5°, respectivamente. Salienta-se que os valores residuais foram tomados com deslocamento horizontal igual a 15 mm.

3.2 Ensaios de fluência

Primeiramente, a fluência do geotêxtil foi caracterizada por meio do ensaio convencional (Cv), em temperatura ambiente. Em seguida, dois ensaios acelerados (Ac-1 e Ac-2) de fluência foram conduzidos, a 38,5°C e 58,3°C. Assim, três ensaios de fluência utilizaram corpos de prova em isolamento. Para verificar a influência do confinamento do solo na fluência deste material, um ensaio confinado (Cf) e dois confinado-acelerados (Cf-Ac-1 e Cf-Ac-2) foram realizados. Salienta-se que a elevação da temperatura nos ensaios confinado-acelerados objetivou atingir os valores registrados nos ensaios acelerados. Assim, os ensaios confinado-acelerados foram realizados a 38,2°C e 57,3°C.

Apesar das recomendações em norma, os ensaios apresentados nesse artigo não duraram 1.000 horas. Contudo, eles tiveram duração suficiente para avaliar as diferentes respostas da fluência do geotêxtil devido ao confinamento do solo em diferentes temperaturas. A Tabela 1 resume as características de cada ensaio de fluência apresentado neste artigo.

Tabela 1. Características dos ensaios de fluência.

Tipo de ensaio	Carreg. (%) ¹ (COV) ³	Duração (h)	T (°C) ² (COV) ³
Cv	60,0% (0,0%)	1319.3	21,6 (7,5%)
Ac-1	61,2% (1,5%)	90.2	38,5 (1,0%)
Ac-2	60,3% (1,8%)	165.0	58,3 (0,9%)
Cf	59,9% (1,3%)	36.6	23,9 (1,0%)
Cf-Ac-1	60,8% (3,1%)	206.0	38,2 (0,3%)
Cf-Ac-2	59,8% (1,0%)	15.6	57,3 (0,5%)

¹ Carregamento, em relação à resistência à tração.

² Temperatura de ensaio.

³ Coeficiente de variação das leituras obtidas.

3.3 Resultados

Os resultados de seis ensaios de fluência realizados em um geotêxtil não tecido de poliéster são apresentados nesta seção. As

Figuras 5, 6 e 7 exibem a relação entre o tempo decorrido e as deformações dos corpos de prova obtidas nos ensaios em isolamento e confinados em areia, nos diferentes valores de temperatura.

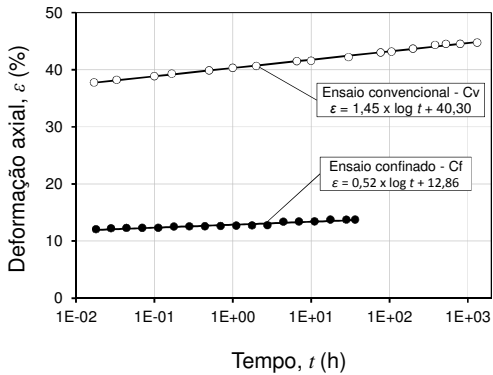


Figura 5. Comparação da resposta de fluência do geotêxtil em temperatura ambiente.

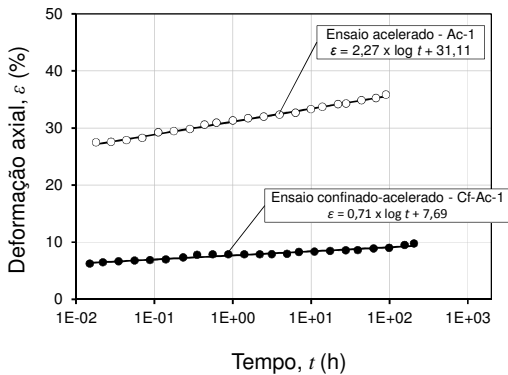


Figura 6. Comparação da resposta de fluência do geotêxtil em temperatura aproximadamente igual a 38°C.

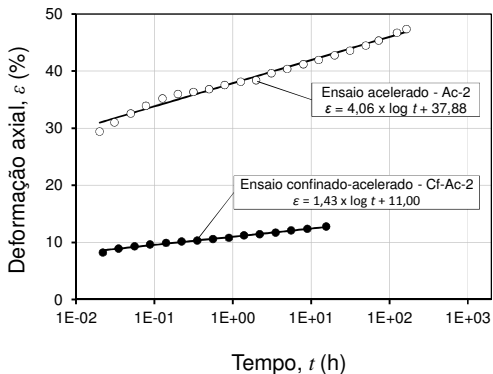


Figura 7. Comparação da resposta de fluência do geotêxtil em temperatura aproximadamente igual a 58°C.

A relação entre o tempo de ensaio e as

deformações dos corpos de prova apresentou-se linear em todos os ensaios, quando representados em escala semi-logarítmica. Os coeficientes angulares destas equações indicam a taxa de deformações por fluência do geotêxtil em cada ensaio. Assim, a comparação entre esses valores permite verificar a influência da temperatura e do confinamento do solo nas deformações por fluência deste geossintético. A Tabela 2 resume estes valores.

Tabela 2. Coeficientes angulares obtidos nos ajustes logarítmicos dos resultados dos ensaios de fluência.

Tipo de ensaio	Coefficiente angular	Coefficiente de determinação (R ²)
Cv	1,45	0,998
Ac-1	2,27	0,995
Ac-2	4,06	0,987
Cf	0,52	0,898
Cf-Ac-1	0,71	0,952
Cf-Ac-2	1,43	0,991

Percebe-se uma redução expressiva na taxa de deformações por fluência do geotêxtil devido ao confinamento do solo. Verificou-se também que a elevação da temperatura de ensaio aumenta a velocidade com que as deformações por fluência ocorrem. Esses dois fenômenos eram previstos segundo a literatura técnica. Assim, o novo equipamento para execução de ensaios de fluência em geossintéticos se mostrou capaz de realizar ensaios simultaneamente confinados e acelerados.

4 CONCLUSÕES

Este artigo apresentou um novo equipamento desenvolvido com o propósito de conduzir ensaios simultaneamente confinados e acelerados de fluência. Essa proposta visou mitigar os dois principais aspectos negativos dos ensaios convencionais de fluência. Testes preliminares foram realizados com um geotêxtil não tecido de poliéster. As conclusões seguintes podem ser retiradas do presente estudo:

- O novo equipamento apresentou desempenho extremamente satisfatório, uma vez que permitiu a realização de ensaios de fluência simultaneamente confinados e acelerados. Adicionalmente, outras condições puderam ser reproduzidas neste

equipamento, utilizando-se apenas uma dessas medidas.

- O confinamento do solo foi bastante eficaz na redução das deformações por fluência do geotêxtil estudado.
- O efeito da temperatura pôde ser percebido por meio dos ensaios realizados. Como esperado, as deformações por fluência do geotêxtil são proporcionais à temperatura de ensaio.

Esta pesquisa encontra-se em andamento e ensaios complementares são previstos, o que permitirá uma interpretação mais aprofundada dos resultados. Além disso, será possível avaliar a aplicabilidade do novo equipamento na previsão das deformações por fluência de longo prazo, por meio da aplicação de técnicas de superposição tempo-temperatura. Outros tipos de geossintéticos também serão avaliados ao longo desta pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo pelo suporte técnico a esta pesquisa e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- Bueno, B. S., Constanzi, M. A. e Zornberg, J. G. (2005) Conventional and Accelerated Creep Tests on Nonwoven Needle-Punched Geotextiles, *Geosynthetics International*, Vol. 12, No. 6, p. 276-287.
- Costa, C. M. L. (2004) *Deformações Dependentes do Tempo em Muros de Solo Reforçado com Geotêxteis*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 330 p.
- Ding, J., Tong, J. e Zhou, W. (2009) Test Study on the Confined Creep Features of HPDE Geogrid in Sand, *Proceedings of the Fourth European Geosynthetic Conference – EuroGeo4*, IFAI, Edinburgh, Scotland.
- Elias, V., Yuan, Z., Swan Jr., R. W. e Bachus (1998) *Development of Protocols for Confined Extension/Creep Testing of Geosynthetics for Highway Applications*. FHWA-RD-97-143, McLean,

VA, 211p.

- Jeon, H. Y., Kim, S. H. e Yoo, H. K. (2002) Assessment of Long-Term Performances of Polyester Geogrids by Accelerated Creep Test, *Polymer Testing*, Vol. 21, No. 5, p. 489-495.
- Jones, C. J. F. P. e Clarke, D. (2007) The Residual Strength of Geosynthetic Reinforcement Subjected to Accelerated Creep Testing and Simulated Seismic Events, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 25, No. 3, p. 155-169.
- Kamiji, T., Bueno, B. e Costa, C. (2009) Nonwoven Geotextiles: Evaluation of Behavior in Confined Creep Tests, *Proceedings of the Fourth European Geosynthetic Conference – EuroGeo4*, IFAI, Edinburgh, Scotland.
- McGown, A., Andrawes, K. Z. e Kabir, M. H. (1982) Load-Extension Testing of Geotextiles Confined in Soil, *Proceedings of the Second International Conference on Geosynthetics*, Vol. 3, IFAI, Las Vegas, Nevada, USA, p. 793-798.
- Mendes, M. J. A., Palmeira, E. M. e Matheus, E. (2007) Some Factors Affecting the In-Soil Load Strain Behaviour of Virgin and Damaged Nonwoven Geotextiles, *Geosynthetics International*, Vol. 14, No. 1, p. 39-50.
- Tong, J., Gong, B. e Liu, J. (2009) An Experimental Study on the Creep Behaviour of Geogrids at Different Temperature, *Proceedings of the Fourth European Geosynthetic Conference – EuroGeo4*, IFAI, Edinburgh, Scotland.
- Thornton, J. S., Allen, S. R., Thomas, R. W. e Sandri, D. (1998) The Stepped Isothermal Method for Time-Temperature Superposition and its Application to Creep Data on Polyester Yarn, *Proceedings of Sixth International Conference on Geosynthetics*, Vol. 2, IFAI, Atlanta, Georgia, USA, p. 699-706.
- Yeo, S. e Hsuan, Y. G. (2009) Evaluation of Stepped Isothermal Method Using Two Types of Geogrids, *Proceedings of the Fourth European Geosynthetic Conference – EuroGeo4*, IFAI, Edinburgh, Scotland.
- Zornberg, J. G., Byler, B. R. e Knudsen, J. W. (2004) Creep of Geotextiles Using Time-Temperature Superposition Methods, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 130, No. 11, p. 1158-1168.