



ENSAIOS MECÂNICOS AUTOMATIZADOS DE CABOS CONDUTORES

Nilson Barbieri

Oswaldo Honorato de Souza Júnior

Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUCPR

Av. Imaculada Conceição, 1155

CEP: 81025-901 – Curitiba, PR, Brasil

Resumo. *Este trabalho apresenta de uma forma sucinta, uma bancada para ensaios mecânicos automatizados de cabos condutores. A bancada possui capacidade de tracionamento mecânico da amostra de até 200 kN, controle da temperatura ambiente até 200°C e vão útil para a amostra em torno de 13,5 m. Os ensaios são totalmente automatizados e o controle é feito através de programas computacionais específicos. Os principais ensaios permitidos pela bancada são: fluência em toda faixa de temperatura, tensão/deformação (módulo de elasticidade do material) e dilatação térmica. Esta bancada surgiu em função da necessidade de uma empresa de energia elétrica em ter dados para subsidiar novos projetos de linhas de transmissão e otimização ou adequação das linhas em uso.*

Palavras-chave: *Cabos, ensaios mecânicos, fluência, tensão-deformação, dilatação térmica*

1. INTRODUÇÃO

Um trabalho recente (Morgan, 1996) relata a necessidade de aumento da corrente elétrica em novas e antigas linhas de transmissão, como uma demanda para o aumento de consumo e necessidades econômicas. Este fato eleva a temperatura do cabo, a flecha e a fluência ao longo do tempo, diminuindo a resistência mecânica nas linhas.

Para fazer a recapacitação ou repontencialização de linhas antigas e acrescentar melhorias de projeto para as novas linhas, é necessário avaliar as reais propriedades físicas dos condutores. Os principais parâmetros avaliados são: fluência (para a temperatura de trabalho), dilatação térmica, curva tensão-deformação (cálculo do módulo de elasticidade) e parâmetros vibratórios como o amortecimento próprio e fadiga.

Nigol e Barret (1981) analisaram os efeitos da variação das curvas tensão/deformação e a dilatação térmica em condutores de alumínio com alma de aço (ACSR – Aluminum Conductor Steel Reinforced) para altas temperaturas e variações nas solicitações mecânicas, propondo um novo método para cálculo da flecha do cabo.

O alongamento permanente (fluência) para condutores elétricos em linhas de transmissão tem sido estudada a muito tempo e um valor satisfatório para este parâmetro ainda não foi encontrado (Bourgsdorf, 1981). Os métodos para cálculo dos parâmetros de fadiga e amortecimento próprio do condutor são descritos pela EPRI (1979). Estes fatores são

importantes porque as linhas de transmissão estão sujeitas à movimentos induzidos pelo vento e condições meteorológicas.

Gopalan et al. (1987,1993) tem estudado o comportamento dinâmico de linhas de transmissão através de ensaios laboratoriais. Nesta linha, o efeito de grampos de fixação no parâmetro de fadiga em cabos condutores tem sido analisado por Ramey et al. (1981), McGill et al. (1986) e Cardou et al. (1993).

Para realizar os ensaios mecânicos citados anteriormente, uma bancada automatizada para ensaios em cabos condutores é apresentada (Herek, 1997). Todos os ensaios são automatizados e controlados por computador. A vantagem da construção desta bancada é subsidiar o projeto de novas linhas de transmissão, recapacitação e repotencialização das linhas antigas, testar novos tipos de cabos (como ligas termoresistentes que podem operar acima de 100°C), bem como servir para controle de qualidade na aquisição de material. Apresenta-se desta forma, os resultados de um ensaio de fluência de 1000 horas para uma liga termoresistente na temperatura de 150°C, ensaios de fluência de duração menor para cabos antigos (com mais de 20 anos de uso) e novos do mesmo tipo na temperatura de 65°C (temperatura média de trabalho) e um ensaio de tensão-deformação para um cabo de alumínio com alma de aço.

2. DESCRIÇÃO DA BANCADA

A Fig. 1 mostra esquematicamente os componentes básicos da bancada de cabos condutores. O microcomputador (1) controla o desempenho do teste através do uso de um CLP – Controlador Lógico Programável (2) e monitoramento contínuo dos sinais de dois sensores indutivos de deslocamento, sete sensores de temperatura (13) e um sensor de força (7).

Um sistema de pretensionamento mecânico (3-5) serve para aplicar uma tensão mecânica da ordem de 5% da carga de ruptura do material, para colocação dos sensores. A capacidade de tracionamento mecânico deste sistema é da ordem de 10 kN.

O sistema (7-11) serve para controlar automaticamente a carga mecânica no cabo, usando um sistema de servomecanismo (15). O sinal elétrico de controle é proporcional à diferença entre a carga mecânica programada e a carga medida pela célula de carga (7). A capacidade de tracionamento mecânico deste sistema é 200 kN. Em caso de falta de energia somente o computador e alguns instrumentos permanecem operando através de um “no break”. Neste caso, para os ensaios de fluência (ensaios de longa duração) a amostra é protegida usando-se um sistema de reserva que automaticamente diminui a carga mecânica no cabo. Com a queda de energia a temperatura tende a diminuir provocando um tracionamento mecânico maior na amostra.

A temperatura dentro da câmara que contém a amostra (14) é continuamente ajustada através de um sistema controlado por resistências elétricas. A capacidade de temperatura é da ordem de 200°C. Para contornar problemas de variação de temperatura ao longo da amostra, existem quatro fontes de corrente elétrica para alimentação das resistências elétricas. Uma para cada extremidade da amostra (onde existem grandes perdas de temperatura) e as outras duas para controle da parte central da amostra. O ambiente de temperatura controlada (14) possui paredes revestidas (isoladas com lã de vidro) e funciona como um forno. O controle da temperatura é continuamente realimentado através dos sinais dos termopares. O controle é local e controlado pelo microcomputador.

Para economizar energia, um sistema automático de peso-morto (11) é usado para manter a tensão mecânica na amostra. Este sistema permite uma grande economia de energia elétrica.

No momento, apenas os ensaios de fluência, tensão-deformação e dilatação térmica podem ser realizados em um vão útil da ordem de 12 metros. Para a realização dos ensaios de

Uma liga termoresistente de alumínio com alma de aço (TACSR - Thermo Alloy Conductor Steel Reinforced) contendo 26 fios de alumínio com diâmetro de 4.45 mm e 7 fios de aço com diâmetro de 3.35mm foi usada. A tensão de ruptura do cabo completo é da ordem de 138900 N. O teste foi conduzido considerando uma carga mecânica de tração de 25% da carga de ruptura, a temperatura foi mantida no cabo em 150°C e o teste teve uma duração de 1000 horas. A Fig. 2 mostra o alongamento da amostra em função do tempo de ensaio. A primeira parte da curva, alguns minutos de ensaio, caracteriza a tomada de carga (tracionamento mecânico). Na Fig. 3, tem-se a fluência do cabo. Nota –se que a curva apresenta algumas oscilações. Este fato é devido à variação da temperatura ambiente externa (neste ensaio não foi controlada). Considerou-se a fluência do cabo após seis minutos de ensaio. A Fig. 4 mostra a fluência percentual ajustada. Esta curva é extremamente importante porque é através dela que se pode estimar o comportamento da linha ao longo do tempo, ou seja, os valores podem ser extrapolados para o tempo que for necessário. Isto possibilita que sejam feitos ajustes mecânicos nas linhas de transmissão, como a correção da altura mínima entre o solo e o cabo.

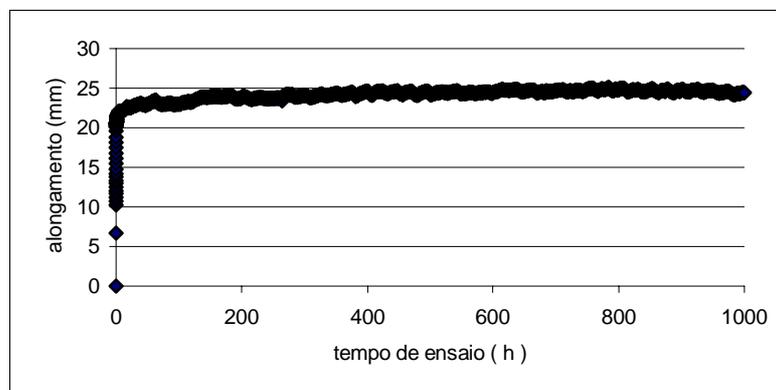


Figura 2 – Alongamento da amostra ao longo do tempo de ensaio.

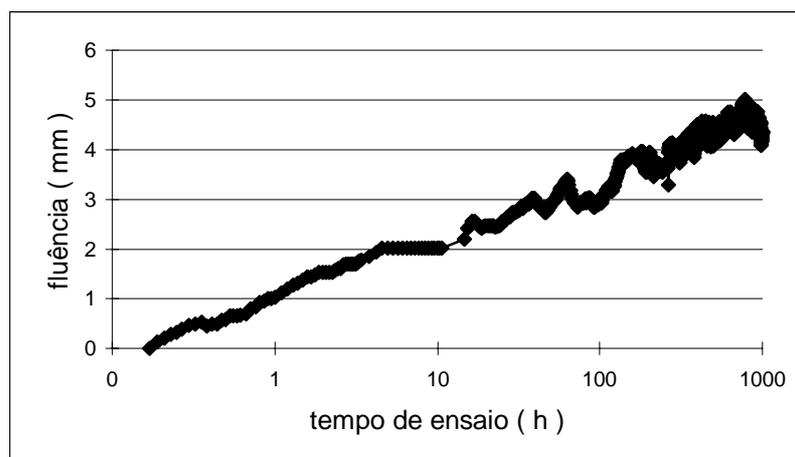


Figura 3 – Fluência da amostra ao longo do tempo.

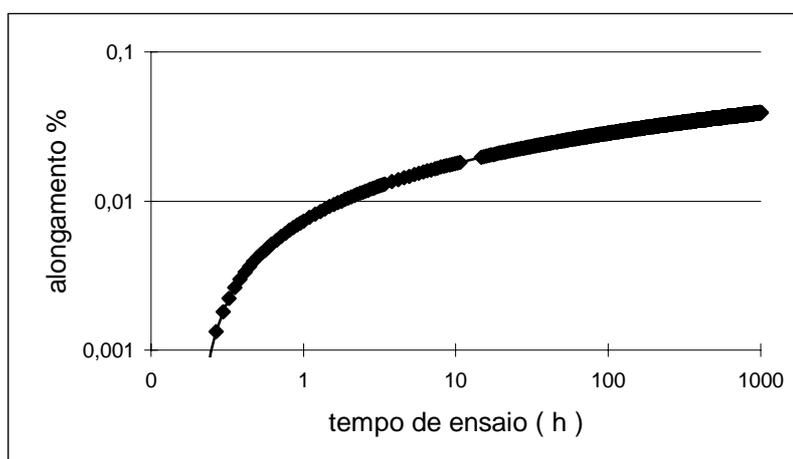


Figura 4 – Curva de fluência percentual ajustada.

3.2 – Ensaio de fluência em cabos ACSR novos e antigos

Estes ensaios servem para avaliar os parâmetros físicos de cabos com mais de 20 anos de utilização. O levantamento dos parâmetros físicos é importante para a melhoria do projeto e para recapacitação/repotencialização de uma linha de transmissão antiga. Para comparar os resultados, foram realizados os mesmos ensaios para cabos novos. Os resultados para amostras do cabo velho são apresentados nas Figs. 5 e 6. Foram escolhidas quatro faixas de carga mecânica: 15, 20, 25 e 30% da carga de ruptura (CR) do cabo que está próxima de 100 kN. A temperatura dos ensaios foi mantida em 65°C (temperatura média de operação nas linhas de transmissão). O cabo é de alumínio com alma de aço contendo 26 fios de alumínio de diâmetro de 3.139 mm e 7 fios de aço de diâmetro de 2.441 mm.

Nota-se na Fig. 5 que como a carga mecânica de trabalho nas linhas de transmissão é próximo de 20% da CR, não houve fluência no cabo velho para 15% da CR (esta curva não está presente na figura), e pouca fluência para 20% da CR. Acima desta faixa notou-se um comportamento semelhante para ambos os cabos (Figs. 5 e 6).

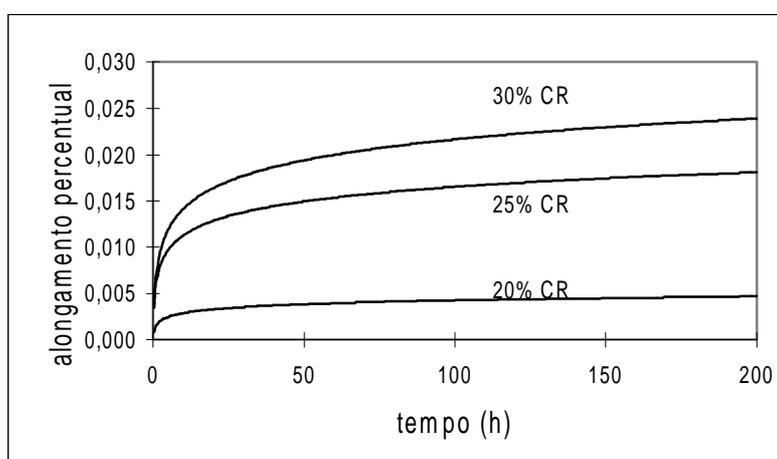


Figura 5 – Curva de fluência percentual ajustada para amostras de cabo velho.

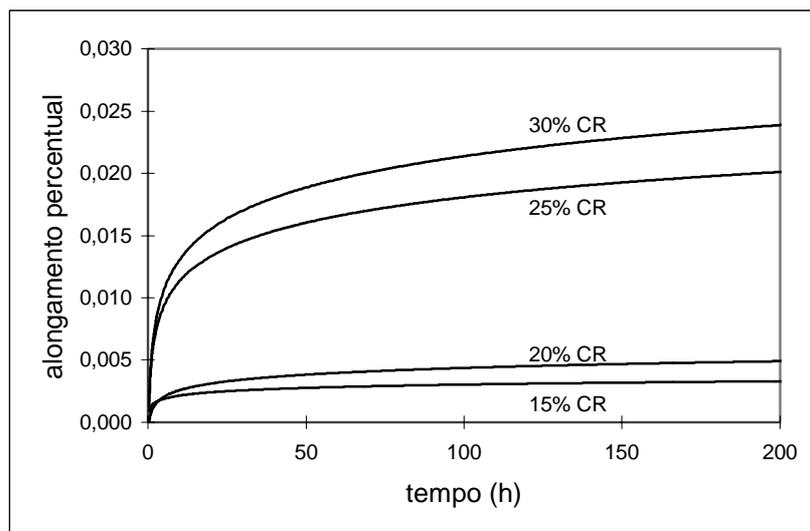


Figura 6 – Curva de fluência percentual ajustada para amostras de cabo novo.

3.3 – Ensaio de tensão-deformação para um cabo ACSR

Os ensaios de tensão-deformação são normalizados e consiste em aplicar e retirar uma carga mecânica do cabo em intervalos de tempo pré-determinados. As cargas normalizadas são 30, 50, 70 e 75% da carga de ruptura. O cabo utilizado foi um ACSR (com sete fios de alumínio e um fio de aço). Este ensaio é realizado em duas etapas. Na primeira etapa estuda-se o comportamento do cabo completo. Numa segunda etapa analisa-se o comportamento da alma de aço. O comportamento do alumínio é obtido subtraindo-se uma curva da outra. A Fig. 7 apresenta as curvas tensão-deformação para o cabo completo. De acordo com as inclinações das curvas é possível encontrar valores para os módulos de elasticidade dos componentes. Os valores encontrados (ABNT, 1982) foram:

- Módulo de elasticidade médio inicial Inferior (pré-carga - 30%) 74,2GPa
- Módulo de elasticidade médio inicial Superior (35% - 50%) 61,1GPa
- Módulo de elasticidade médio final composto 84,5GPa
- Módulo de elasticidade médio final do Aço 201,2GPa
- Módulo de elasticidade médio final do Alumínio 64,7 Gpa

Estes valores estão relacionados com os carregamentos e se referem às inclinações das curvas para os carregamentos de 30%, 50% e da curva final obtida com o carregamento de 75% da carga de ruptura.

Outro parâmetro de interesse obtido com este ensaio é a carga de ruptura do cabo composto e da alma de aço e os valores encontrados foram respectivamente 12697 e 8508 N.

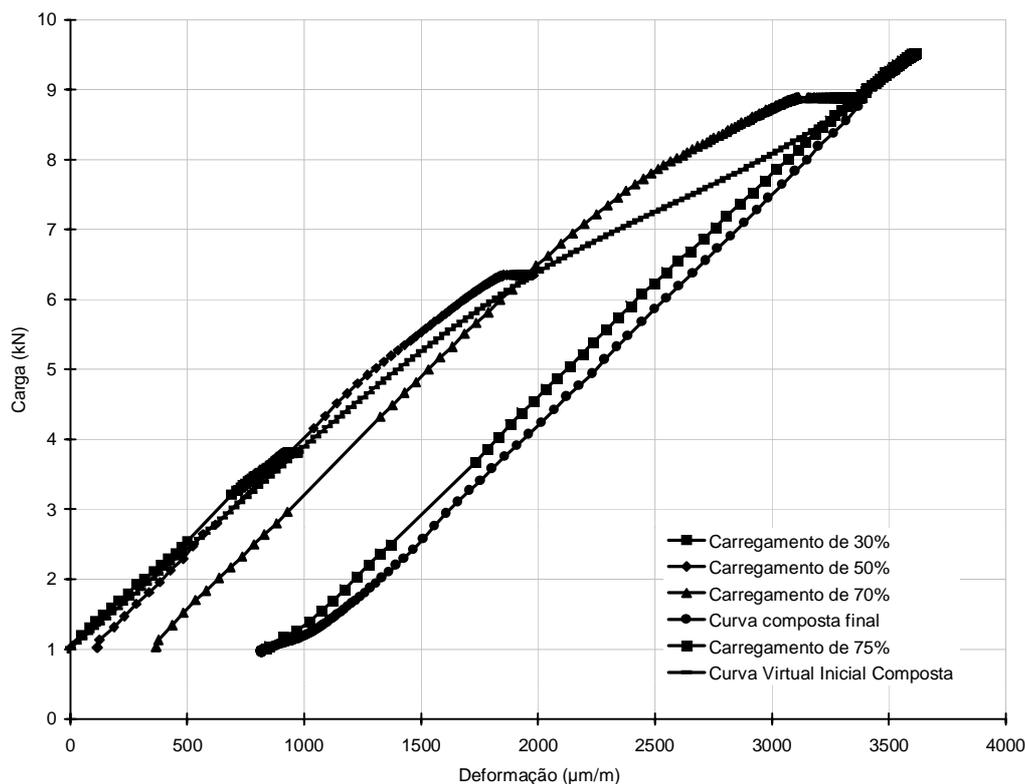


Figura 7 – Curvas de tensão-deformação de um cabo completo

4. CONCLUSÕES

Os primeiros ensaios de fluência, realizados em ligas termoresistentes serviram para validação da bancada de ensaios condutores (Herek, 1997). Os resultados encontrados estavam próximos dos resultados fornecidos pelo fabricante. Estes resultados serviram para subsidiar o desenvolvimento de um produto nacional.

Os ensaios de fluência realizado em amostras de cabos novos e cabos antigos semelhantes apresentaram resultados satisfatórios. Notou-se que apesar dos cabos antigos já estarem em uso durante um longo período (mais de 20 anos) continuam apresentando comportamento mecânico semelhante aos cabos novos. O mesmo não foi verificado para uma faixa de tração mecânica (15% da carga de ruptura) uma vez que carga mecânica de trabalho é normalmente entre 18 e 20% da carga de ruptura, e desta forma, a fluência para o cabo antigo já havia ocorrido.

Notou-se que os ensaios de tensão-deformação apresentaram resultados altamente satisfatórios. Os valores encontrados para os módulos de elasticidade estão próximos dos valores fornecidos pelos fabricantes.

Com estes ensaios foi possível verificar algumas potencialidades da bancada: estudo de novos materiais (liga termoresistente), avaliação da propriedades mecânicas de cabos novos e dos cabos das linhas em uso (que é um grande problema uma vez que as linhas de transmissão no Brasil são antigas e necessariamente deverão sofrer algum tipo de análise para adequação ou

substituição das mesmas). As propriedades mecânicas avaliadas neste trabalho são a fluência e módulo de elasticidade dos materiais.

REFERÊNCIAS

- ABNT, 1982, NBR 7302 - Tensão-deformação em condutores de alumínio, método de ensaio.
- Bourgsdorf, M. V., 1981, Permanent elongation of conductors. Predictor Equation and Evaluation Methods. *Electra*, n. 75, pp. 63-98.
- Cardou, A., Leblond, A. & Cloutier, L., 1993, Suspension clamp and ACSR electrical conductor contact conditions. *Journal of Energy Engineering (ASCE)*, vol. 199(1), pp. 19-31.
- EPRI – Electric Power Research Institute, 1979, Transmission line reference book. Wind-induced conductor motion, Palo-Alto – California.
- Gopalan, T. V., 1993, New excitation system for indoor testing of overhead conductors. *Journal of Energy Engineering (ASCE)*, vol. 119(3), pp. 159-167
- Gopalan, T. V., Durvasula, S. & Nagabhushana, G. R., 1987, Rationale of length scale-down model span testing of transmission lines. *Journal of Energy Engineering (ASCE)*, vol. 113(1), pp. 14-24.
- Herek, O., 1997, Bancada de ensaios mecânicos de cabos condutores a altas temperaturas, Ph.D. Thesis, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
- McGill, P. B. & Ramey, G. E., 1986, Effect of suspension clamp geometry on transmission line fatigue. *Journal of Energy Engineering (ASCE)*, vol. 112(3), p. 168-184.
- Morgan, V. T., 1996, Effect of elevated temperature operations on the tensile strength of overhead conductors. *IEEE Transactions of Power Delivery*, vol. 11(1), p. 345-352.
- Nigol, O. & Barrett, J. S., 1981, Characteristics of ACSR conductors at high temperatures and stresses. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 100(2), p. 485-493.

AUTOMATED TESTING SYSTEM FOR OVERHEAD LINE CABLES

Abstract. *An automated testing system for overhead line cables with temperature control from environment temperature to 200°C is presented. The tests aim is the determination of mechanical characteristics such as creep, thermal strain, stress/strain, fatigue and self-damping in order to improve overhead lines design through the analysis of new and already-in-use cable as quality control. The data are obtained through the utilization of displacement, temperature and load sensors. The temperature and the cable tension are continuously controlled. The data acquisition, analysis and the feedback are made through an intelligent interface.*

Key words: *Cables, testing-system, creep, stress-strain*