



**XXII SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

23/GLT/23
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO – III

GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS E TRANSMISSÃO - GLT

DETERMINAÇÃO DA FLUÊNCIA NOS CABOS CONDUTORES UTILIZADOS NA LT PORTO VELHO – ARARAQUARA 2 600 KV BIPOLOS 1 e 2 – A NECESSIDADE DE NORMAS/MÉTODOS DE ENSAIO MAIS PRECISOS

**Marcos José Mannala (*)
LACTEC**

**Carlos E. L. Mattos
LACTEC**

**Gabriel R. do Amaral
LACTEC**

**Marcos César de Araújo
ELETROBRAS ELETRONORTE**

**Oswaldo H. de Souza Jr.
COPEL/UTFPR**

RESUMO

Com o objetivo de fornecer subsídios para o projeto das LT's 600 kV Porto Velho – Araraquara 1 e 2 foram realizados ensaios para determinar os parâmetros mecânicos dos cabos condutores, entre eles, foi determinado a fluência do material. Este artigo evidencia falhas de reprodutibilidade de ensaio causadas pela metodologia adotada da norma NBR 7303 - Condutores elétricos de alumínio - Fluência em condutores de alumínio (1), bem como propõem uma metodologia para aprimorá-la, a fim de que se obtivessem resultados com maior reprodutibilidade entre as amostras ensaiadas.

PALAVRAS-CHAVE

Fluência, condutor, metodologia de ensaio, reprodutibilidade, comportamento mecânico.

1. INTRODUÇÃO

Com o atual montante de investimentos em Linhas de Transmissão e Distribuição, proveniente da necessidade de fornecimento de energia para o desenvolvimento do país, a determinação das características mecânicas dos condutores de energia, entre as quais figura o fenômeno da fluência, cujo ensaio é padronizado pela norma NBR 7303 - Condutores elétricos de alumínio - Fluência em condutores de alumínio (1), tornou-se um subsídio fundamental para o sucesso dos empreendimentos de novos projetos de linhas de transmissão.

O cabo condutor de energia é responsável por grande parte dos custos dessas linhas. Levando-se em conta a dimensão continental do Brasil, não há como se abrir mão da qualidade e segurança em novos empreendimentos, fundamentais para o desenvolvimento do País.

Uma questão de interesse das concessionárias de transmissão de energia elétrica e do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica, é manter a estabilidade do Sistema Interligado Nacional (SIN). A necessidade de definir parâmetros quantitativos para a estimativa do comportamento mecânico dos condutores é fundamental para alcançar este objetivo.

Este artigo traz a experiência obtida por meio de um trabalho desenvolvido juntamente com as concessionárias dos bipolos 1 e 2, IE Madeira e Norte Brasil, respectivamente, e seus consultores, o qual foi motivado pela necessidade de se obter, por meio de ensaios mecânicos em cabo condutor de alumínio nu, subsídios para a estimativa do comportamento mecânico do mesmo quando em serviço. O referido condutor (a saber, o CA 2282,8 MCM) hoje

(*) BR 116 – km 98, nº 8813, nº 123 – sala 132 - Bloco Campus UFPR – CEP 81.531-980, Curitiba, PR – Brasil.
Tel: (+55 41) 3361-6259 – Cel.: (+55 41) 8439-4427 – Email: mannala@lactec.org.br

compõe as LT's 600 kV Porto Velho/Araraquara bipolos 1 e 2, com cerca de 2 400 km de extensão cada uma, e que têm a finalidade de escoar a energia produzida pelas hidrelétricas de Jirau (de 3 450 MW) e Santo Antônio (de 3 150 MW), a partir do rio Madeira, em Rondônia, até o interior do estado de São Paulo. O fornecimento do condutor para essas linhas de transmissão, dada à envergadura da obra, foi dividido entre os grandes fabricantes nacionais.

Em uma primeira etapa, procedeu-se aos ensaios de fluência nos cabos fornecidos pelos diversos fabricantes. Obedecendo à norma pertinente NBR 7303:1982 (1), constatou-se grande dispersão de resultados. As diferenças chegaram a mais de 300% do resultado final, mesmo para ensaios realizados em amostras fornecidas por um só fabricante, e retiradas de uma mesma bobina.

Em uma segunda etapa, após estudo conjunto envolvendo concessionárias, fabricantes e laboratório, e a fim de verificar se a referida dispersão de resultados era devida a falhas na metodologia proposta pela norma ou a diferenças nos métodos de fabricação dos diversos fabricantes, foi proposta uma nova metodologia de ensaio. Foram então realizados ensaios por meio dessa nova metodologia.

As seções 2 e 3 apresentam a metodologia de norma e a metodologia proposta, bem como os principais motivos que levaram à mudança de método.

2. DESCRIÇÃO SUSCINTA DA METODOLOGIA DE ENSAIO SEGUNDO A NBR 7303:1982

A primeira etapa dos ensaios teve os procedimentos ditados pela NBR 7303:1982 (1). É dada abaixo uma breve descrição das exigências desta norma e seus procedimentos.

O objetivo do ensaio é determinar o comportamento do alongamento do condutor ao longo de determinado período, durante o qual se mantém tração constante no cabo. Tempo, alongamento, tração e temperatura da amostra são registrados em tempo real durante o ensaio.

O preparo da amostra obedece à ABNT NBR 7273 Condutor elétrico de alumínio – retirada e preparo de corpo de provas para ensaio de tipo (3). A carga inicial de tração (ou pré-carga) é de até 4% da Resistência Mecânica Calculada (RMC) do condutor. Neste patamar de tração, é realizada a instalação dos sensores de temperatura e dos transdutores de deslocamento linear para medição do alongamento por fluência. O tempo de permanência na pré-carga deve ser o menor possível, pois, apesar de a tração ser reduzida, o cabo pode fluir, ainda que pouco, com consequências que serão discutidas mais à frente.

Na pré-carga, faz-se a medição do comprimento inicial do condutor. O cabo é então tracionado da pré-carga até a tração de ensaio, sendo que, ao final do carregamento, mede-se o alongamento devido à variação de carga. Este alongamento é somado ao comprimento da amostra obtido na medição da pré-carga, estabelecendo-se assim a cota zero do ensaio.

A tração no condutor não deve exceder o valor da tração de ensaio, o que pode ser ocasionado por sobrepassagens e erro de sintonia de controladores, por exemplo. Durante o carregamento da pré-carga à tração de ensaio, não devem ocorrer interrupções ou paradas em valores intermediários de tração. As opções dadas pela norma para as trações de ensaio são de 15, 20, 25 e 30% do valor da RMC. Porém, em projetos especiais, têm sido utilizados valores intermediários.

A fluência é apresentada em um gráfico log-log, sendo composta pelo alongamento lido pelos transdutores de deslocamento e pela extrapolação dos dados obtidos, a qual é feita por meio da Equação (1) e caracterizada por uma reta no gráfico. O alongamento obtido na primeira hora de ensaio é usado para definir o ponto inicial da curva de fluência, a qual é composta somente pelos dados obtidos a partir desta primeira hora de ensaio. A duração do ensaio é de 100 a 1 000 horas.

$$\log(y) = m \cdot \log(x) + b, \quad (1)$$

onde:

x é o tempo, em horas;

y é a deformação, em $\mu\epsilon$ (*microstrain*, ou $\mu\text{m/m}$); e

b é o ponto que corta o eixo das ordenadas, em $\mu\epsilon$ (*microstrain*, ou $\mu\text{m/m}$).

As quantidades mínimas de medidas do alongamento são as seguintes: na primeira hora de ensaio, as leituras são feitas de 10 em 10 minutos; depois da primeira hora, de hora em hora; e, depois da décima hora, de 10 em 10 horas. Completadas 100 horas, as leituras passam a ser de 100 em 100 horas, até findarem às 1 000 horas. A precisão mínima exigida das medições de alongamento é de 0,001%.

3. DISCUSSÃO DOS PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM O RESULTADO DO ENSAIO DE FLUÊNCIA

3.1 As deformações envolvidas durante as solicitações mecânicas em cabos para LT's e LD's

Para se determinar o valor da deformação devida à fluência em um condutor, deve-se levar em conta que ela vem acompanhada basicamente de mais três outros componentes de deformação; são eles: acomodação geométrica dos fios, a deformação elástica e a expansão térmica representadas na Figura 1.

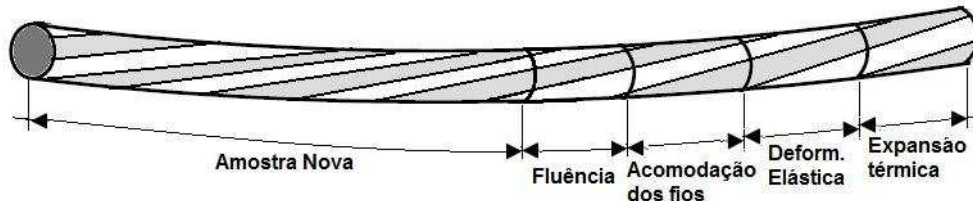


Figura 1. Deformações envolvidas durante o ensaio de fluência.

A acomodação geométrica dos fios e a deformação elástica ocorrem principalmente durante o carregamento do condutor da pré-carga até a tração de ensaio. O valor somado dessas duas componentes é muito maior do que o das outras duas.

Durante o ensaio de fluência, que ocorre a partir da estabilização da tração na amostra, as deformações mais significativas são as devidas à fluência e à dilatação térmica. Neste estágio, a influência da dilatação térmica é uma constante durante todo o ensaio, enquanto que a fluência vai reduzindo exponencialmente em função do tempo.

O instante que divide o fim do carregamento e a estabilização da tração na amostra, o qual não é estabelecido em norma, é de extrema importância para o resultado final do ensaio, razão pela qual ele é discutido em detalhes nas próximas seções.

3.2 A influência da taxa de carregamento da amostra da pré-carga até a tração de ensaio

A taxa de carregamento da amostra possui uma influência importante no resultado final do ensaio. Se a taxa de carregamento for alta, assim que o valor da tração de ensaio for atingido, deformações elásticas e acomodações geométricas são indevidamente contabilizadas como fluência. Se ocorrer o contrário, ou seja, a taxa de carregamento for muito baixa, um determinado valor de fluência será indevidamente subtraído do ensaio, pois a amostra já terá sofrido fluência considerável quando for atingida a tração de ensaio. Vale lembrar que o comportamento da fluência na amostra é logarítmico e, portanto, os primeiros minutos têm grande impacto no resultado final do ensaio.

A Figura 2 ilustra este fenômeno, sendo que nela "D1" representa o alongamento acrescido indevidamente e "D2", o alongamento perdido devido a um carregamento muito lento. A curva preta representa o carregamento realizado a uma taxa ideal ou de referência, a qual não é definida pela norma brasileira.

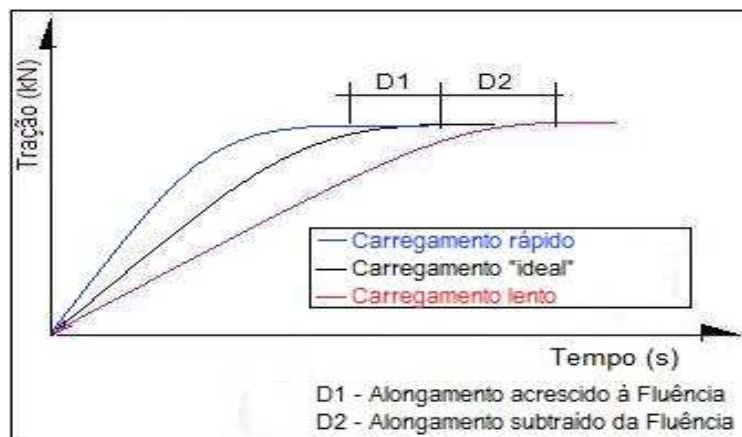


Figura 2. Análise da importância do carregamento inicial da amostra.

3.3 A influência do início das medições da fluência

O ponto inicial das medições da fluência é de grande relevância para o resultado final do ensaio. Segundo a NBR 7303 (1), as medições devem ser iniciadas no instante em que a tração de ensaio é atingida, sendo que, ao longo de todo o ensaio, esta tração deve ser mantida com tolerância de $\pm 2\%$.

Se a primeira medição ocorrer antes deste ponto dito “ideal”, também não definido pela norma, deformações elásticas serão adicionadas aos alongamentos de fluência. Se ocorrer o contrário, o ponto do início do ensaio for escolhido depois do ponto ideal, um determinado valor de fluência será subtraído da curva.

A Figura 3 ilustra a influência da alteração do ponto de início das medições. Nela, o ponto P3 representa o ponto de início “ideal” das medições, no qual a primeira medida é tomada imediatamente ao se atingir exatamente o valor da tração de ensaio. A diferença $\epsilon_3 - \epsilon_1$ representa o alongamento acrescido indevidamente à fluência, caso o início do ensaio se dê no limite inferior da tolerância de tração estabelecida pela norma. O mesmo vale para $\epsilon_2 - \epsilon_3$, agora com o início do ensaio com tração 0,5% inferior à tração nominal de ensaio. Por fim, $\epsilon_4 - \epsilon_3$ representa o alongamento perdido, devido a um início de ensaio tardio, com a tração já atingida.

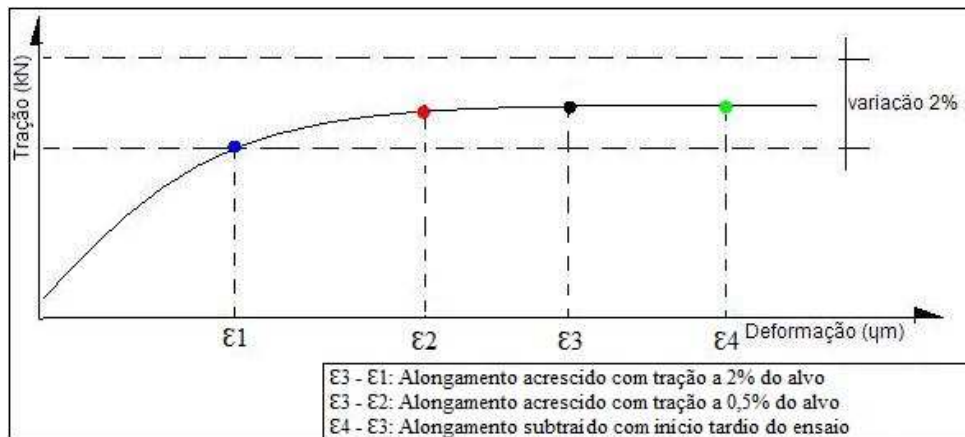


Figura 3. Análise da influência da escolha do ponto inicial do ensaio.

3.4 Consequências da adição ou perda de alongamento inicial

Como descrito na seção 2, pode-se extrapolar para vários anos os valores de alongamento obtidos no ensaio de fluência, substituindo o valor de x da Equação (1) pelo tempo desejado, em horas. O valor de m é influenciado pelo ponto inicial, b . Quando deformações elásticas são indevidamente somadas à fluência, b se torna maior, ocasionando diminuição da inclinação da curva, m , e, portanto, ocasionando também redução no valor da fluência extrapolada. Por outro lado, quando alguma fluência inicial é perdida, o valor de b é reduzido, ocasionando aumento da inclinação da curva, m . A extrapolação para vários anos, neste caso, fornece um valor de fluência maior, como ilustrado na Figura 4.

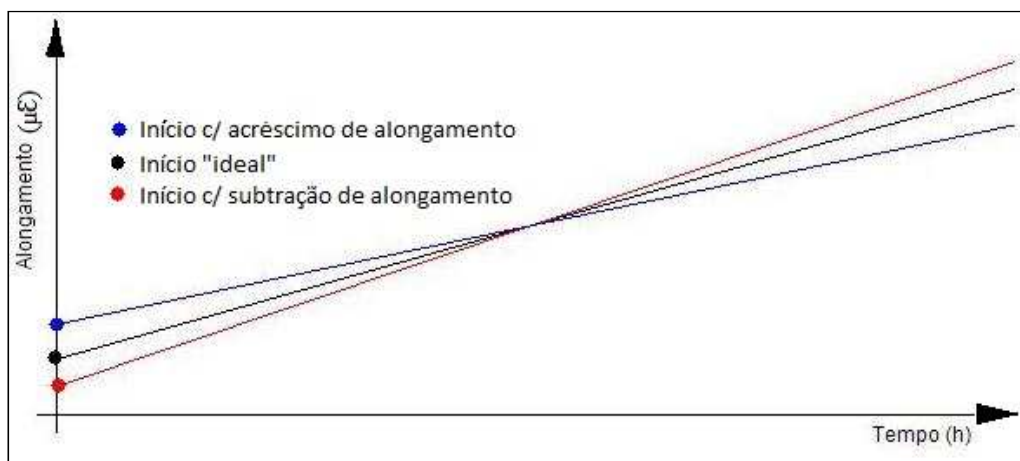


Figura 4. Análise da reta extrapolada com respeito aos acréscimos e decréscimos de alongamento no início do ensaio.

Não é possível se obter valores melhores iniciando as medições mais tarde, excluindo assim alguma alongamento inicial. Tal procedimento diminuirá a fluência de curto prazo, mas, por outro lado, resultará num expoente de fluência maior, aumentando assim a fluência de longo prazo (2).

Em suma, quando se adiciona alongamento inicial, diminui-se o valor da fluência extrapolada; quando se subtrai alongamento inicial, aumenta-se o valor da fluência extrapolada. Este aparente contra-senso é justificado pelo fato de que a fluência tem comportamento logarítmico, e a reta encontrada pela Equação (1) é traçada num gráfico *log-log*.

4. DA METODOLOGIA PARA A EXECUÇÃO DA SEGUNDA ETAPA DE ENSAIOS DE FLUÊNCIA

Os dados da primeira etapa de trabalho são de ensaios realizados a partir de pedidos isolados feitos pelos fabricantes. São, no total, sete ensaios de fluência no mesmo tipo de amostra, sendo seis realizados pelo Instituto de Pesquisa para o Desenvolvimento (LACTEC) e um em outro laboratório. Por motivos de confidencialidade, os nomes desses fornecedores foram substituídos por letras. Dos sete ensaios, três são do mesmo fabricante. A Tabela 1 mostra os valores obtidos nestes primeiros ensaios de fluência, com metodologia da NBR 7303:1982.

Tabela 1. Extrapolação da fluência para 100 000 h – metodologia da NBR 7303:1982.

Fabricante	Extrapolação da fluência para 100 000h [mm/km]	Média [mm/km]
A	316,59	481,96
	322,99	
	806,3	
B	613,9	749,45
C	793,04	
D	998,34	
E	592,51	

A análise dos dados da Tabela 1 fornece algumas conclusões:

- Para o fabricante A, que realizou o ensaio em três amostras, obteve-se uma variação de 489,71 (mm/km) entre o menor e o maior valor de fluência em 100 000 h;
- Na comparação entre os demais quatro fabricantes, a diferença entre o maior e o menor valor foi de 405,83 (mm/km), ou 17,64 °C de equivalente térmico;
- A maior diferença neste universo de dados foi de 681,75 (mm/km), ou 29,64 °C de equivalente térmico, i.e., o maior valor é 315% superior ao menor valor de fluência.

Devido à grande dispersão de resultados obtida, foi realizada uma reunião entre as concessionárias ELETRONORTE, fabricantes, projetistas, consultores e LACTEC, na qual foram definidas algumas diretrizes para uma segunda etapa de ensaios, almejando resultados mais conclusivos quanto aos valores de fluência obtidos em relação à primeira etapa. Tais diretrizes incluem procedimentos padronizados de preparo de amostras e alterações na metodologia de ensaio em relação à adotada pela norma (1).

4.1 Procedimentos adotados para o aprimoramento do ensaio de fluência

Aqui se mencionam sucintamente os procedimentos para a realização da segunda etapa de ensaios, os quais compreenderam ações desde a chegada das amostras às instalações do LACTEC até o pós-processamento dos dados de ensaio:

- a. Quanto à preparação das amostras, em cada extremidade do cabo foram instaladas cinco braçadeiras metálicas, espaçadas a cada 250 mm, a fim de se preservar ao máximo a integridade do condutor, evitando uma acomodação nos fios da amostra.
- b. O carregamento da amostra da pré-carga até a tração de ensaio foi feito de forma que o valor da tração de ensaio fosse atingido em cinco minutos, com tolerância de dez segundos, conforme IEC 61395:1998(2). Todos os dados deste carregamento foram registrados eletronicamente a cada meio segundo, a fim de se averiguar se, durante a aplicação da carga, houve variações bruscas de tração. Esta aquisição de dados foi realizada até o fim do ensaio e de forma independente da aquisição dos dados do ensaio propriamente dito.
- c. Foi adotada como temperatura de referência para a correção da dilatação térmica da amostra (devido a variações de temperatura durante o ensaio) a temperatura no instante em que a tração nominal de ensaio foi atingida.
- d. O coeficiente de dilatação térmica aplicado na correção citada no item c foi obtido em um ensaio de determinação do coeficiente de dilatação térmica (DCDT) realizado na mesma amostra.

e. O período entre as aquisições obedece à Equação (2):

$$T=10^n, \quad (2)$$

sendo:

T o período de aquisição, em segundos;

n o número serial com incremento constante, como $n_{m+1} = n_m + \Delta$;

Δ o valor constante para que a cada década se tenham 375 pontos de aquisição.

Adotando-se a Equação (2), os pontos de aquisição ficam igualmente espaçados quando representados em gráficos log-log.

f. Para a verificação da repetibilidade dos resultados, foram realizados de dois a quatro ensaios do mesmo condutor por fabricante.

g. Foram estipuladas tolerâncias de 0,5% para a tração de ensaio e de $\pm 0,5$ °C para a temperatura na amostra. Essas tolerâncias são quatro vezes menores do que as adotadas pela NBR 7303:1982 (1).

h. O início das medições ocorreu sempre no ponto em que, com a tração dentro da tolerância citada no item anterior, a curva alongamento *versus* tempo apresentou derivada igual em todos os ensaios.

4.2 Descrição do ensaio de determinação do coeficiente de dilatação térmica (DCDT)

Os ensaios de DCDT foram realizados à mesma tração dos ensaios de fluência (26% da RMC). A faixa de temperatura adotada foi de 20 °C a 30 °C, a mesma faixa permitida para o início dos ensaios de fluência, conforme norma NBR 7303:1982 (1).

A fim de evitar que possíveis deformações oriundas da acomodação mecânica de uma amostra nova incrementassem artificialmente o valor do coeficiente de dilatação térmica obtido, cada ensaio de DCDT foi realizado na mesma amostra utilizada no ensaio de fluência.

Após a estabilização da tração, o ensaio é iniciado injetando-se na amostra corrente alternada proporcionalmente à temperatura requerida, de maneira gradativa, a fim de se assegurar a homogeneidade no aquecimento da amostra. A taxa de aquecimento adotada foi de 1 °C a cada 90 s. Também visando o aquecimento homogêneo da amostra, o ambiente do laboratório esteve sempre livre de circulação de ar (4).

Enquanto o cabo é aquecido, a tração é mantida constante por meio de um sistema de controle em malha fechada. As aquisições dos valores de tração, alongamento e temperatura do condutor foram obtidas simultaneamente, à taxa de aquisição de 120 amostras por minuto.

Assim que a temperatura da amostra alcança o valor almejado de 30 °C, o sistema é desligado, interrompendo a aquisição de dados do ensaio. O sistema reduz automaticamente a tração no cabo, até que a amostra fique levemente frouxa, pois o resfriamento causa diminuição no comprimento do condutor, o que eleva a tração da amostra, podendo danificar o equipamento de ensaio.

5. RESULTADOS

Nesta seção são analisados resultados de 17 ensaios de fluência realizados com os parâmetros determinados entre os fornecedores dos condutores, o LACTEC e as concessionárias ELETRONORTE e IE Madeira.

As variações máximas de carga e temperatura durante os ensaios foram de 0,43% e 0,48 °C, respectivamente.

Dado o número de ensaios realizados, é possível fazer diversas comparações entre amostras do mesmo fabricante e também entre amostras de diferentes fabricantes.

A Tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios realizados conforme os procedimentos descritos nas seções 2 e 3 (com alterações). A correção do ponto de início dos ensaios, segundo o procedimento proposto, acarretou em diferenças nos resultados finais de fluência entre 13,4% a 33,1% com relação aos obtidos pelo método da norma. Por motivos de confidencialidade, os nomes dos fornecedores foram substituídos por letras.

Tabela 2. Resultados dos ensaios com a aplicação das modificações de metodologia propostas.

Fabricante	Extrapolação da fluência para 100 000 h [mm/km]	Média (mm/km)
A	823,14	701,37
	606,65	
	609,99	
	765,69	
B	940,32	799,17
	967,28	
	649,61	
	639,47	
C	782,60	728,73
	692,23	
	711,36	
D	914,91	780,71
	920,68	
	685,74	
	601,51	
E	808,33	825,20
	842,07	

6. CONCLUSÕES

Após os ensaios, verificou-se aumento na uniformidade dos resultados, quando adotado o procedimento proposto neste trabalho, demonstrando a necessidade de uma revisão da NBR 7303, visto que a mais recente revisão desta norma, de 1982, não abordou as questões aqui discutidas.

Os resultados obtidos com a metodologia proposta, mesmo para o mesmo fabricante do condutor, apresenta uma dispersão nos resultados. As hipóteses para isto são elencadas abaixo:

- Resultados finais mais próximos foram obtidos em amostras que foram preparadas juntas. Uma das hipóteses é que, devido à expansão térmica dos fios que compõem o cabo, a temperatura das amostras durante seu preparo é relevante, pois pode gerar diferenças de acomodação mecânica nos fios.
- A padronização do critério de definição do ponto inicial do ensaio levou a uma significativa melhora nos resultados finais (vide tabela 2, fabricante E). Sem um procedimento de ensaio que defina detalhadamente esses parâmetros, é impossível atingir resultados confiáveis com reprodutibilidade.
- O coeficiente de dilatação térmica obtido nos ensaios de DCDT foi de $27 \mu\epsilon/^\circ\text{C}$ (ao invés de $23 \mu\epsilon/^\circ\text{C}$, como usualmente adotado para condutores de alumínio 1350). Isto é explicado pelo fato de o cabo não se comportar como um cilindro maciço de alumínio, pois a distribuição da tensão mecânica nos fios que compõem o condutor é distinta. Deve-se ter em mente também que, tanto nos ensaio de fluência como nos de DCDT, a tração aplicada à amostra é constante, o que não ocorre nas linhas de transmissão (5).

7. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Uma continuação deste trabalho sobre fluência em cabos condutores de energia deve levar em conta que, sendo o ensaio de fluência fundamental para determinar os parâmetros mecânicos das linhas de transmissão, como a catenária do cabo instalado, então o procedimento de ensaio deve se aproximar do que ocorre em campo, durante a instalação do condutor. Trabalhos futuros devem contemplar carga e tempo de pré-tensionamento do condutor conforme especificações de projeto.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Condutores elétricos de alumínio. Fluência em condutores de alumínio - NBR 7303:1982. Brasil.
- (2) INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION - Overhead electrical conductors – Creep test procedures for stranded conductors - IEC 61395. Ed. 1.
- (3) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. – Condutor elétrico de alumínio – retirada e preparo de corpo de provas para ensaio de tipo. NBR 7273:2010.
- (4) MANNALA, Marcos J., SOUZA JR, Oswaldo H., - Metodologia de Ensaio para determinação do coeficiente de dilatação térmica de cabos condutores para linhas de transmissão, XX SNPTEE, Recife-PE, 22 a 25 de Novembro de 2009.
- (5) Task force B2.12.3. Sag-tension calculation - Methods for overhead lines, CIGRÉ.

9. DADOS BIOGRÁFICOS



Marcos José Mannala nasceu em Curitiba, PR, em 23 de agosto de 1967. Recebeu os títulos de técnico em eletrotécnica pelo CEFET, em 1988, graduado em Engenharia Elétrica pela UFPR, em março de 2001, e Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas com ênfase em sistemas de controle pela PUC-PR, em outubro de 2004. Trabalhou na Companhia Paranaense de Energia – COPEL – como fiscal de obras de LT's e na área de estudo de projetos de LT's. Atualmente, trabalha em pesquisa e ensaios na área de distribuição e transmissão de energia, no Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC).

Carlos Eduardo Lourenço Mattos nasceu em São Paulo, SP, em 10 de maio de 1967. Graduou-se em Engenharia Metalúrgica na Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) em Ouro Preto, MG, em 1991. Especialista em Engenharia da Qualidade pela American Society for Quality, em 1996, pós-graduado em Comércio Exterior pela Universidade Mackenzie, em 1998, e Gestão de Negócios pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica, em 2003, e Mestrando em Mecânica pela UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná). Trabalhou na Samarco Mineração AS, Nacional de Grafite LTDA, Hitachi Ar Condicionado Brasil S/A, Orica do Brasil e IBQ, atuando nas áreas de Engenharia de Processos, Qualidade, Comércio Exterior e Logística. Atualmente, trabalha em pesquisa e ensaios na área de distribuição e transmissão de energia no Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC).

Gabriel Ruggiero do Amaral nasceu no Rio de Janeiro, RJ, em 10 de abril de 1989. É graduado em Engenharia Mecânica, pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Atualmente, trabalha em pesquisa e ensaios na área de distribuição e transmissão de energia no Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC).



Marcos César de Araújo, nascido em Santos/SP em 1957, graduou-se em Engenharia Elétrica em 1981 pelo Instituto Superior de Educação Santa Cecília, atual Universidade Santa Cecília, em Santos. Sempre atuando na área de projetos de linhas de transmissão, trabalha desde 1987 na Eletrobras Eletronorte, participando de diversos e importantes empreendimentos do setor elétrico. Desde 2003, exerce o cargo de gerente da área de projetos de linhas de transmissão da Eletrobras Eletronorte.

Oswaldo Honorato de Souza Junior nasceu em Heliódora, MG, em 10 de julho de 1957. Graduou-se em Engenharia Mecânica na Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), em Itajubá MG, em 1978. Recebeu os títulos de Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Itajubá, em 1994, e Doutor em Engenharia Mecânica pela PUC-PR, em 2010. Trabalhou na companhia Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A (ELETRONORTE), no setor de Engenharia de Manutenção, e na Companhia Paranaense de Energia (COPEL), como Pesquisador de P&D desde 1993, e posteriormente no LACTEC também como Pesquisador até 2011. Atualmente trabalha na COPEL na área de Engenharia de Manutenção. Desde 1995, também atua como professor do Departamento de Mecânica da UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná).