

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA- ANEEL

RESOLUÇÃO Nº DE DE DE 2000

Estabelece os procedimentos para determinação de encargos por perda adicional de vida útil, devida à sobrecarga, em equipamentos do sistema de transmissão.

O DIRETOR-GERAL DA AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, no uso de suas atribuições regimentais, de acordo com deliberação da Diretoria, tendo em vista o disposto no parágrafo único do art 9º da Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998, nos incisos IV e V do art. 7º do Decreto nº 2.655, de 2 de julho de 1998, na Resolução ANEEL nº 247, de 13 de agosto de 1999, o que consta do Processo nº 48500.001701/00-25, e considerando que:

existe a necessidade de regulamentar os procedimentos para determinação de encargos por perda adicional de vida útil, devida à sobrecarga, em equipamentos dos agentes responsáveis pelos serviços públicos de transmissão de energia elétrica, resolve:

Art. 1º Estabelecer os procedimentos e identificar, para fins de fixação dos encargos por perda adicional de vida útil, devida à sobrecarga, os equipamentos de transmissão que fazem parte da composição da Receita Permitida atribuída aos agentes responsáveis pelos serviços públicos de transmissão de energia elétrica, conforme segue:

I - transformadores e autotransformadores de potência, doravante denominados apenas transformadores;

II - equipamentos de manobra, transformadores de corrente, bobinas de bloqueio, compensação série, barramentos e conexões, vinculados a linhas de transmissão ou transformadores; e

III - linhas de transmissão.

§ 1º Os transformadores devem ser operados em condições de carregamento normal de operação, quais sejam, aquelas em que a temperatura limite do topo do óleo ou a temperatura limite do ponto mais quente do enrolamento não é excedida, mesmo que, em parte do ciclo de carga, seja ultrapassada a potência nominal do último estágio do sistema de resfriamento, sendo a temperatura limite igual àquela que produzisse uma perda de vida útil que não superasse a expectativa de vida útil de quarenta anos (estabelecida a partir da “teoria de Arrhenius”).

§ 2º Os equipamentos a que se refere o inciso II devem ser operados até sua capacidade nominal, ou, quando as condições construtivas permitirem, poderão atingir valor superior.

§ 3º As linhas de transmissão devem ser operadas com observância das limitações decorrentes da distância mínima do condutor ao solo, conforme as características do projeto, a capacidade máxima de condução de corrente, os limites de estabilidade do sistema ou outras restrições operacionais, caso ocorram.

(Fls. 2 da Resolução nº ,de de de 2000)

§ 4º Os equipamentos relacionados nos incisos II e III não serão contemplados por encargos adicionais caso a operação dos mesmos ultrapasse os limites estabelecidos, por não dispor-se atualmente de métodos quantificáveis que estabeleçam a perda de vida útil adicional por sobrecarga.

§ 5º Quando por eventual necessidade operacional, tanto em período de curta duração (não cíclica) como de longa duração (cíclico diário), será admitida sobrecarga às condições normais de carregamento dos transformadores e estabelecida uma compensação financeira pela utilização de um Fator de Sobrecarga “S” associado à perda de vida útil adicional do transformador e ao aumento do risco de falha por sobrecarga, de acordo com o disposto na norma da ABNT - NBR 5.416 , de julho de 1997.

Art. 2º Assim que for caracterizada uma condição de sobrecarga com perda adicional de vida útil em transformadores, prevista ou não, as concessionárias deverão encaminhar relatório ao Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, para certificação, o qual permitirá a obtenção de compensação por sobrecarga adicional, bem como subsidiará a análise e o controle desta situação especial, contemplando:

I- simulação da sobrecarga, utilizando o conjunto de parâmetros indicados nos §§ 1º, 2º e 3º deste artigo, os quais devem constar desse relatório, em conformidade com as Tabelas A1 e A2 do Anexo A da NBR-5.416, de 1997, e segundo metodologia que contemple a formulação apresentada no ANEXO 1 desta Resolução, para a obtenção do Fator de Sobrecarga “S”; e

II - fatores limitantes e restrições operativas existentes nos transformadores submetidos à sobrecarga, visando a preservar uma condição de operação segura, mediante informações e a simulação referida no inciso I deste artigo.

§ 1º Os parâmetros de carregamento para utilização na simulação da sobrecarga em transformadores e acompanhamento destas condições devem ser disponibilizados ao ONS, e registrados em intervalos de tempo, entre registros, de, no máximo, quinze minutos para as correntes nos terminais dos enrolamentos e de, no máximo, uma hora para a temperatura ambiente.

§ 2º Para a determinação da temperatura ambiente poderá ser utilizado o registro da temperatura média do mês em análise, obtido dos relatórios do Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura, referente às ocorrências de vários anos.

§ 3º Os parâmetros do transformador, para utilização na simulação da sobrecarga, são: classe de temperatura - cinquenta e cinco graus centígrados ou sessenta e cinco graus centígrados; corrente nominal (último estágio do sistema de resfriamento); e designação do sistema de resfriamento.

§ 4º Para efeito do estabelecimento de limites de carregamento dos novos transformadores, e daqueles construídos sob a norma da ABNT - NBR 5.416, de 1997, as concessionárias de transmissão poderão certificar, alternativamente ao disposto no inciso II, estudo prévio e ensaios elaborados pelo fabricante do equipamento, quando de sua entrada em operação.

§ 5º Para efeito do estabelecimento de limites de carregamento dos demais transformadores em operação, as concessionárias de transmissão poderão certificar,

alternativamente ao disposto no inciso II, estudo prévio elaborado por fabricante ou empresa especializada.

(Fls. 3 da Resolução nº , de de 2000)

§ 6º As simulações a que se refere o inciso I do caput deste artigo deverão compreender o período integral mensal em que está ocorrendo a sobrecarga.

Art. 3º Os períodos em que os transformadores forem submetidos à sobrecarga serão compensados com receita adicional, utilizando o Fator de Sobrecarga “S” multiplicado pela Receita Permitida praticada no ano de operação, ajustados por um Fator de Penalidade “P<sub>f</sub>” e calculados em intervalos de quinze minutos a cada mês calendário, sendo os valores debitados ao(s) usuário(s) responsável(eis) no mês subsequente.

§ 1º Em qualquer mês, o valor total de receita para o equipamento em sobrecarga será no máximo o dobro da receita auferida em condições normais de operação.

§ 2º Para auferir esta receita adicional as concessionárias diretamente envolvidas deverão demonstrar ao ONS, mediante relatório previamente certificado, conforme disposto no art. 2º, a condição de sobrecarga com perda adicional de vida útil, devendo o ONS calcular este encargo, atribuindo o ônus de acordo com as seguintes condições:

I) à concessionária de distribuição, quando a sobrecarga for originada por crescimento do mercado ou por qualquer ação de responsabilidade da concessionária de distribuição; e

II) a todos os usuários da Rede Básica, quando a sobrecarga for originada por necessidade sistêmica, decorrente de despachos de carga determinados pelo ONS.

Art. 4º Para qualquer equipamento citado no inciso I do art. 1º, que seja um fator limitante para a função transmissão ou transformação, será atribuída uma redução proporcional à respectiva remuneração da linha de transmissão ou transformador associado, até que cesse esta limitação.

Parágrafo único. Para os transformadores, esta redução será proporcional à limitação existente, seja referente aos estágios de resfriamento em operação ou qualquer outra restrição interna apresentada pela concessionária responsável por estes equipamentos.

Art. 5º Quando da elaboração dos Procedimentos de Rede pelo ONS, relativos à sistemática de determinação da sobrecarga em transformadores e dos encargos decorrentes, estes deverão ser descritos em consonância com esta Resolução e disciplinar as relações entre os Agentes.

Art. 6º Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

**JOSÉ MÁRIO MIRANDA ABDO**

## Anexo 1 - Fator de Sobrecarga S

### 1. Geral

Este Anexo apresenta o cálculo do fator de compensação por sobrecarga “S” associado aos aspectos de perda de vida adicional do transformador e ao aumento do risco de falha.

### 2. Fator de Sobrecarga “S”

Este fator é suportado pelo modelo simplificado de reação química baseado no desenvolvimento da teoria completa realizada por Arrhenius, conforme disposto na norma da ABNT - NBR 5.416, de 1997. O fator “S” resulta da média ponderada do produto dos fatores “Vs” (perda de vida adicional do transformador) e “Vf” (aumento do risco de falha) nos intervalos de tempo em que o ciclo de carga de interesse é estratificado, dentro do mês da ocorrência de sobrecarga.

Isto é:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n V_{S_i} \cdot V_{f_i} \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \Delta t_i} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \Delta t_i} \quad [pu] \quad (E1)$$

onde:

**S:** fator multiplicador associado a um ciclo de carga

**V<sub>s</sub><sub>i</sub>:** fator multiplicador associado à perda de vida adicional, em cada um dos intervalos de tempo  $\Delta t_i$  no qual o período do ciclo de carga é estratificado;

**V<sub>f</sub><sub>i</sub>:** fator multiplicador associado ao risco adicional de falha, em cada um dos intervalos de tempo  $\Delta t_i$  no qual o período do ciclo de carga é estratificado;

**$\Delta t_i$ :** intervalos de tempo, no máximo 15 minutos, no qual o período do ciclo de carga é estratificado; e

**n:** número de intervalos de tempo  $\Delta t_i$  nos quais seja registrado o carregamento, durante o ciclo de carga.

#### 2.1. Fator Multiplicador “Vs”

O fator multiplicador “**V<sub>s</sub>**” é determinado, em um intervalo de tempo do ciclo de carga, pela relação entre a perda de vida da isolação do transformador na condição de carga atual e a perda de vida útil normal para uma expectativa de vida de 40 anos para o transformador. As perdas de vida são calculadas conforme a Teoria de Arrhenius. Este fator, com característica exponencial, é dependente da temperatura (absoluta) do ponto mais quente, da elevação da temperatura do ponto quente em relação à sua temperatura limite e das constantes **A** e **B** associadas à expectativa de vida da isolação de celulose.

Isto é:

- **Perda de Vida Normal (Expectativa de Vida de 40 anos):**

$$PV_n\% = \frac{\Delta t_i}{24 \cdot 365 \cdot 40} \cdot 100 \quad [\%] \quad (E2)$$

- **Perda de Vida em um Intervalo do Ciclo de Carga:**

$$PV_s\% = 10^{-\left(\frac{B}{273+\Theta_{es}}+A\right)} \cdot \Delta t_i \cdot 100 \quad [\%] \quad (E3)$$

dividindo-se (E3) por (E2) resulta:

$$V_s = 10^{-\left(\frac{B}{273+\Theta_{es}}+A\right)} \cdot 24 \cdot 365 \cdot 40 = 10^{-\left(\frac{B}{273+\Theta_{es}}+A\right)} \cdot 350400 \quad [pu] \quad (E4)$$

onde:

- V<sub>s</sub>**: fator multiplicador associado à perda de vida;
- A**: constante da curva de expectativa de vida da isolação de papel para transformador de classe **55°C**: **A=-14,133** pu para transformador de classe **65°C**: **A=-13,391** pu
- B**: constante da curva de expectativa de vida da isolação de papel **B=6972.15°K**; e
- Θ<sub>es</sub>**: temperatura (°C) do ponto mais quente dos enrolamentos do transformador no intervalo de tempo do ciclo de carga.

## 2.2. Fator Multiplicador “**V<sub>f</sub>**”

O fator multiplicador “**V<sub>f</sub>**”, associado ao aumento do risco de falha de um transformador operando em sobrecarga, é derivado da análise de confiabilidade do transformador. A **taxa de falha em sobrecarga** é estimada à partir da **taxa de falhas típicas**, corrigida com o fator multiplicador de sobrecarga “**V<sub>fs</sub>**” obtido à partir da “teoria de Arrhenius”.

Isto é:

- **Probabilidade de Um Transformador Falhar em um Período de Tempo**

$$F = 100 \cdot \left( 1 - e^{\Delta T \cdot \ln\left(1 - \frac{TX_f}{100}\right)} \right) \quad [\%] \quad (E5)$$

onde:

- F**: probabilidade [%] do transformador falhar no período ΔT considerado.
- ΔT**: período de tempo [anos] de expectativa de vida útil.

**TXf:** taxa de falhas [%/(transf. x ano)] típica de transformador de potência do Sistema Elétrico Brasileiro.

Assim, é considerado o período de  $\Delta T$  (anos) para a expectativa de vida normal de um transformador e a taxa de falha em condição de sobrecarga proporcional ao fator multiplicador de sobrecarga “Vfs”, para a determinação do fator multiplicador “Vf” de aumento de risco de falha do transformador.

Isto é:

$$Vf = \frac{1 - e^{\Delta T \cdot \ln \left( 1 - \frac{Vfs \cdot TXf}{100} \right)}}{1 - e^{\Delta T \cdot \ln \left( 1 - \frac{TXf}{100} \right)}} \quad [pu] \quad (E6)$$

onde:

**Vfs:** fator multiplicador associado à perda de vida adicional c/ sobrecarga

**$\Delta T$ :** período de tempo [anos] de expectativa de vida útil

**TXf:** taxa de falhas [%/(transf. x ano)] típica de transformador de potência do Sistema Elétrico Brasileiro.

O fator multiplicador **Vfs** é determinado, em um intervalo de tempo do ciclo de carga, pela relação entre a perda de vida da isolação do transformador na condição de carga atual e a perda de vida verificada na condição de carga com temperatura limite do ponto mais quente do enrolamento.

Isto é:

- **Perda de Vida na temperatura Limite:**

$$PVn\% = 10^{-\left(\frac{B}{273 + \Theta_{en}} + A\right)} \cdot \Delta t_i \cdot 100 \quad [\%] \quad (E7)$$

- **Perda de Vida em um Intervalo do Ciclo de Carga:**

$$PVs\% = 10^{-\left(\frac{B}{273 + \Theta_{es}} + A\right)} \cdot \Delta t_i \cdot 100 \quad [\%] \quad (E8)$$

sendo as temperaturas absolutas limite e em carga dadas, respectivamente, por:

$$Ten = 273 + \Theta_{en} \quad [^\circ K] \quad (E9)$$

$$Tes = 273 + \Theta_{es} \quad [^\circ K] \quad (E10)$$

Dividindo-se (E8) por (E7) e introduzindo (E9) e (E10) resulta:

$$\boxed{Vfs = 10^{B \left( \frac{1}{Ten} - \frac{1}{Tes} \right)}} \quad (E11)$$

onde:

**Vfs** fator multiplicador associado à perda de vida adicional;

- B:** constante da curva de expectativa de vida da isolação de papel  
**B=6972.15°K;**
- Θ<sub>en</sub>** temperatura (°C) limite do ponto mais quente dos enrolamentos do transformador:  
para transformador de classe **55°C**: **Θ<sub>en</sub> = 30+55+10=95°C**  
para transformador de classe **65°C**: **Θ<sub>en</sub> = 30+65+15=110°C**
- Θ<sub>es</sub>:** temperatura (°C) do ponto mais quente dos enrolamentos do transformador no intervalo de tempo do ciclo de carga.

### 2.3. Fator de Penalidade “P<sub>f</sub>”

Este fator multiplicador permite o ajuste para a penalização estabelecida, isto é, uma vez estabelecido o valor de **S** para cada ciclo diário de carga dentro do mês em que é constatada a sobrecarga, este valor é multiplicado pela receita permitida de cada ciclo, resultando um valor de Receita Total no mês. Este valor, diminuído da Receita Permitida Básica do mês, resulta um valor de Receita adicional que será multiplicado por **P<sub>f</sub>**.

Obs.: Caso a diferença entre a Receita Total e a Receita Permitida Básica do mês for menor ou igual a 0 (zero), **P<sub>f</sub>** deverá ser igual a 0 (zero).

### 2.4. Para fins desta Resolução fica estabelecido que:

- a) A **taxa de falhas típica** de transformadores do Sistema Elétrico Brasileiro operando sob condições normais, admitida sem sobrecarga, corresponde ao valor **TXf=1,73%** [%/(transf. x ano)], conforme Relatório Técnico do GCOI “ RT.SCM.CDE.026 - Análise Estatística de Desempenho de Transformadores - 1998”.
- b) O período de tempo da expectativa de vida útil considerada **ΔT**, é de quarenta (40) anos, conforme Resolução da ANEEL nº 044 de 17 de março de 1999.
- c) Para o ajuste da penalização estabelecida, o fator multiplicador é **P<sub>f</sub> = 2**

OBS.: A Nota Técnica nº 007/2000-SRT/ANEEL, com informações pertinentes, que acompanha o Processo Nº 48500.001701/00-25, está disponível para consulta nesta Agência.