



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

BR/GSE/27
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO – VIII

GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO - GSE

CONSIDERAÇÕES AOS PROJETOS DE INSTALAÇÃO DOS MÓDULOS DE CONEXÃO AOS NOVOS TRANSFORMADORES COM REGIME DE SOBRECARGA, NAS INSTALAÇÕES EXISTENTES NA PLANTA DA CHESF, BASEADA NUMA CONCEPÇÃO TÉCNICA E ECONOMICAMENTE OTIMIZADA DOS PROJETOS DAS NOVAS SUBESTAÇÕES DOS LEILÕES.

**Cinthia Souza dos Santos Xavier (*)
CHESF**

RESUMO

A principal motivação deste trabalho é a análise dos futuros projetos de ampliação da transformação das Subestações da planta da CHESF já interligadas ao Sistema Interligado Nacional, tendo em vista a revisão do sub-módulo 2.3 do Procedimento de rede do ONS, o qual prevê sobrecargas operacionais diárias nem sempre compatíveis com as características nominais destas instalações. Pretende-se discorrer sobre o custo e o trabalho consequente que representará o atendimento a este requisito técnico para casos representativos de cada família destas subestações impactadas.

PALAVRAS-CHAVE

Transformadores com sobrecarga, custo, procedimento de rede, Receita, cabos termoressistentes.

1.0 - INTRODUÇÃO

O projeto básico de uma nova subestação define a configuração final da instalação sendo possível configurar o terreno adequado para a instalação dos eventos definidos em sua configuração final, bem como dimensionar os barramentos necessários à interligação das conexões aos transformadores, reatores e aos terminais de linha ao longo de sua expansão em todos os setores. Com o crescimento diversificado e acentuado do sistema elétrico, algumas destas instalações atualmente possuem conexões a geradores térmicos e eólicos ou acessantes da rede básica não prospectados no planejamento inicial. Adicionalmente, em novembro de 2011 foi aprovada a revisão do sub-módulo 2.3 do procedimento de rede do ONS, o qual apresenta os “Requisitos mínimos para transformadores e para subestações e seus equipamentos” a serem atendidos, desde então estamos vivenciando a aquisição de transformadores de potência aptos a suportar as condições de sobrecarga diária de 20% em 4h e 40% em 30 minutos, e com uma expectativa de vida útil de 40 anos. Esta condição imputará às conexões um acréscimo na corrente nominal dos equipamentos do módulo de conexão, do módulo de interligação dos barramentos e dos próprios barramentos a depender do arranjo e fluxo. Portanto, os novos transformadores com sobrecarga citada, autorizados através das resoluções autorizativas da ANEEL já estão sendo aquisitados e foram compilados neste trabalho em grupos.

Todos os eventos a serem demonstrados estão previstos no Plano de obras 2012-2021 da empresa e serão analisados do ponto de vista orçamentário do transformador e eventos consequentes, e operacional da unidade na instalação.

2.0 - CONJUNTO AMOSTRAL

Dentre as instalações existentes neste horizonte até 2021 não foram incluídas as ampliações em unidades transformadoras das subestações oriundas de projeto de leilão, onde suas primeiras unidades já foram concebidas com esta condição de sobrecarga por imposição do edital, sendo totalizadas 27 instalações, num total de 5484 MVA nominal. Para uma melhor análise, as instalações foram divididas em grupos por critério de nível de tensão, potência, e, principalmente pelos ajustes necessários quando destas ampliações, cujos casos relevantes serão aqui destacados.

2.1 DESCRIÇÃO DOS CASOS POR GRUPO

2.1.1 Grupo 1: Instalação de novas unidades de transformadores 230/69 kV 100 MVA

Este equipamento representa o transformador mais presente na planta da CHESF e também o mais volumoso neste grupo, representarão a última unidade a ser instalada em seis subestações. A principal inconsistência desta ampliação encontra-se no cabo instalado na interligação dos barramentos de 69 kV, conhecida como barra de transferência – BT, devido ao tipo do Arranjo Barra principal e transferência, onde na maioria dos casos é utilizado um cabo do tipo Magnólia (CA) ou Rail (CAA), os quais irão operar ligeiramente superiores (1172 A) ao valor limite a 90 °C (1155 A). Em todas estas instalações recomenda-se utilizar nas conexões dos transformadores cabos termorresistentes, de forma a atender aos limites de ampacidade no regime contínuo e em sobrecarga com temperaturas condizentes, até 90°C em corrente nominal e menor que 150 °C na maior sobrecarga de 40%, para não causar fadiga no cabo por limite térmico ou nas conexões, ver sugestões na tabela 1. Neste caso deve ser prevista também a utilização de conectores adequados a este regime térmico. Em algumas instalações tem-se mantido a duplicação do tipo de cabo já existente para padronização, o que nem sempre denota numa melhor opção técnica devido a existência de mais conexões como possíveis pontos de defeito, bem como representar um esforço maior às estruturas.

Adicionalmente, para a futura instalação do 4º transformador 230/69 kV com sobrecarga na subestação de Goianinha existem limitações físicas de acesso ao quadro de 69 kV e 230 kV e necessidade de adequação das Barras de transferência 69 kV, padronização dos barramentos dos dois quadros e das interligações de barras de 69 kV disponíveis, o que demanda um estudo minucioso da viabilidade técnica e econômica de soluções alternativas, como por exemplo, a instalação de módulos híbridos para estes eventos tendo em vista o tempo e a facilidade de instalação.

TABELA 1 – Dimensionamento dos cabos da Conexão e Interligação de barras 69kV de transformador 230/69 kV 100 MVA

TRANSFORMADOR 230/69 kV						
Cabo termoessistente T-CA para módulos de conexão ao transformador e Interligação de barras 69 kV			Potência (MVA)	In (A)	In 20% (A)	In 40% (A)
			100	836,74	1004,09	1171,44
CÓDIGO	BITOLA AWG / MCM	FORMAÇÃO No. fios	AMPACIDADE (A) (Com Sol, com Vento 1m/s)			
			75 °C	100 °C	125 °C	150 °C
T-MAGNOLIA	954	37	945	1.152	1.322	1.454
T-HAWTHORN	1192	61	1.101	1.340	1.530	1.677

2.1.2 Grupo 2: Instalação de novas unidades de transformadores 230/69 kV 100 MVA em substituição a unidades existentes de menor potência.

A capacidade de transformação da subestação de Bom Nome será ampliada através da instalação de dois Transformadores de potência 230/69 kV de 100 MVA com sobrecarga, os quais substituirão as unidades 04T1 e 04T2 de 39 MVA existentes, conforme Ofício 009/2013 ANEEL. Ao mesmo tempo, como estão previstos reforços no ano de 2016 associados ao Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) foi realizado um estudo de fluxo de potência para análise dos barramentos de 230 kV, estudos estes que definiram a necessidade de adequação dos barramentos de 230 kV (principal e auxiliar) para uma capacidade nominal de curta duração mínima de 1150 A, e adequação dos barramentos de 69 kV (principal e auxiliar) para uma capacidade nominal de curta duração mínima de 1171 A.

Como, atualmente, os barramentos de 230 kV estão em um techo atendidos por 1 cabo Rail 954 MCM, limite térmico nominal de 970 A, e em outro trecho atendidos por 1 cabo Grosbeak 636 MCM, limite térmico de 790 A, foi definida a substituição dos barramentos principal e auxiliar e da interligação de barras de 230 e 69 kV, instalando-se 2 cabos 954 Rail(CAA). Para os equipamentos está previsto também a substituição dos disjuntores e transformadores de corrente das conexões e dos seccionadores das conexões e interligação de barras 69 kV existentes, os pára-raios de carbureto de silício serão substituídos por unidades de óxido de zinco com invólucro polimérico a serem instalados em suportes próximo aos terminais 69 kV dos novos transformadores conforme Especificação técnica. Adicionalmente, será necessária a relocação de estruturas das conexões 69 kV, tendo em vista que o transformador terá maiores dimensões e peso, e consequente adaptação das respectivas bases.

Portanto o recondutoramento dos barramentos de 230 e 69 kV e da interligação de barras 69 kV, e substituição de seccionadores, disjuntores e transformadores de corrente superados por características nominais, são eventos consequentes da instalação dos novos transformadores. A complexidade da realização destes eventos em especial o trabalho nos quadros de 69kV, ver figura 1, e o valor orçamentário representado, constituem aspectos a serem avaliados quando da publicação da resolução autorizativa.

A substituição do transformador da subestação de Picos 230/69 kV de 50 MVA por uma unidade de 100 MVA não acarretará modificação, pois a conexão em 69 kV deste transformador, os barramentos e a respectiva Barra de transferência de 69 kV já possuem padrão de 2 cabos 954 MCM RAIL, apenas serão substituídos os transformadores de corrente 230 kV para atendimento a procedimento de rede destes equipamentos.



FIGURA 1 – Subestação Bom Nome – Barramento de 69 kV com vista da Interligação de barras BT, T1 e T2 a serem substituídos ao fundo.

2.1.3 Grupo 3: Instalação de novas unidades de transformadores 230/69 kV 150 MVA

Está prevista a instalação deste equipamento na subestação de Santa Rita II, onde será necessária a adequação dos cabos da Interligação de barras de 69 kV existente para atendimento às correntes nominais e em

sobrecarga definidas na tabela 2, devendo ser associada à instalação do 3º transformador 230/69 kV 150 MVA, a ampliação de um módulo do quadro de 69 kV e remanejamento da Interligação de barras, a ser construída como sugestão em paralelo, para que esta adequação não inviabilize a disponibilidade deste módulo, conforme exposto nas figuras 2 e 3. Alternativa opcional e mais rápida seria a instalação de módulo híbrido na interligação de barras de 69 kV onde o disjuntor e os seccionadores desinstalados poderiam ser utilizados na nova conexão do transformador.

TABELA 2 – Dimensionamento dos cabos da Conexão e Interligação de barras 69 kV de transformador 230/69 kV 150 MVA

TRANSFORMADOR 230/69 kV						
Cabo termoressistente T-CA para conexão ao transformador e Interligação de barras 69 kV			Potência(MVA)	In (A)	In 20% (A)	In 40% (A)
			150	1255,11	1506,13	1757,15
CÓDIGO	BITOLA AWG / MCM	FORMAÇÃO No. fios	AMPACIDADE (A) (Com Sol, com Vento 1m/s)			
			75 °C	100 °C	125 °C	150 °C
<i>T-NARCISSUS</i>	1272	61	1.150	1.399	1.596	1.750
<i>T-GLADIOLUS</i>	1510,5	61	1.268	1.548	1.766	1.938

Como exemplo, apesar de não fazer parte desta amostra, as ampliações previstas para as subestações de Igarorã II e Aquiraz a princípio não demandarão outros eventos porque foram dimensionados cabos termoressistentes nos barramentos e Interligação de barras de 69 kV em sua primeira etapa, pois suas unidades transformadoras já estão predispostas a sobrecargas especiais.

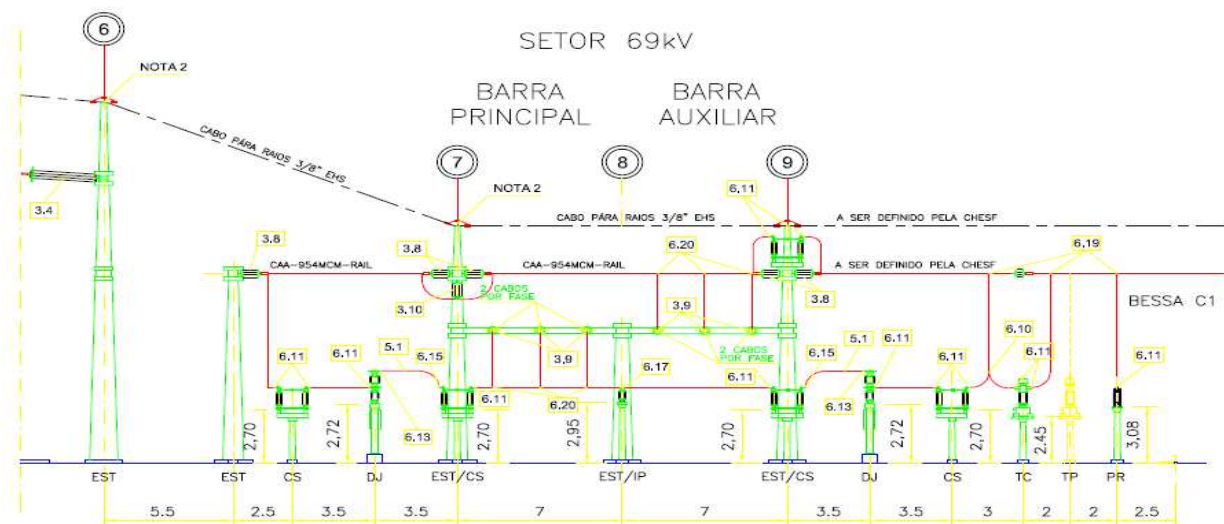


FIGURA 2 – Subestação Santa Rita II – Interligação de barras e Barramento 69 kV atual

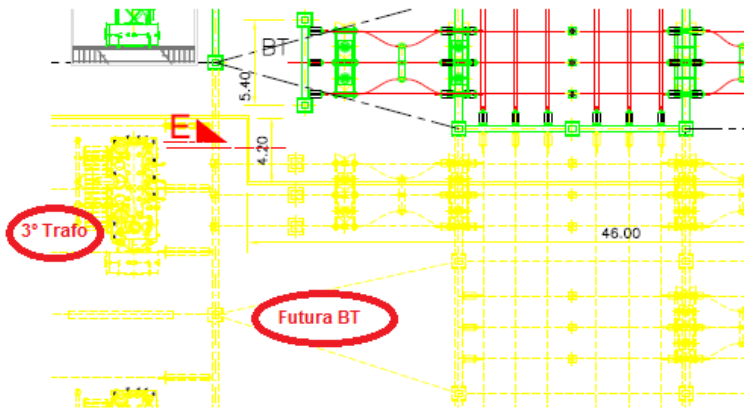


FIGURA 3 – Subestação Santa Rita II – Instalação do 3º Transformador e opção de relocação da Barra de transferência

2.1.4 Grupo 4: Instalação de novos Bancos de autotransformadores 500/230/13,8 kV 600 MVA

As subestações de Fortaleza II, Messias, Suape II, Milagres e Sapeaçu contemplarão a instalação de um novo banco de 600 MVA.

Do estudo de fluxo de potência para análise do barramento de 230 kV da subestação de Milagres na ocasião da instalação do 2º banco em 2013 foi sugerido o projeto de instalação do 2º banco na posição física onde hoje está instalado o reator de barra 20 Mvar, nesta condição em 2013 os barramentos constituídos por dois cabos 954 MCM Rail, portanto com limite térmico de 1940 A, terão sua maior solicitação de 1910 A observada quando da contingência da linha São João do Piauí – Picos, estando o 2º banco 500/230-13,8 kV – 600 MVA operando pela barra de transferência. Esta troca de posição mantém o atendimento dos barramentos de 230 kV com a instalação do 2º banco. No entanto, com a instalação do 3º banco com sobrecarga até 2015 e considerando no ano de 2020 na condição Nordeste importador de energia para esta instalação, a mesma contingência descrita anteriormente imputará ao barramento principal de 230 kV uma corrente máxima de 2750 A, o que define a superação deste barramento sendo necessária a substituição dos condutores. Convém registrar que o Projeto básico desta instalação não previa em sua configuração final a instalação do 3º banco.

Para todas estas subestações aqui citadas existirá uma restrição operacional em se utilizar a unidade reserva existente para uma das unidades deste banco de autotransformadores novos com sobrecarga tendo em vista que sua predisposição para sobrecarga de 20% e 40% diária não poderá ser explorada nesta condição. A situação ideal seria a aquisição de uma nova unidade reserva como consequência destas ampliações.

2.1.5 Grupo 5: Instalação de novas unidades de transformadores 230/138 kV 100 MVA

As instalações com ampliações previstas de instalação de transformadores 230/138 kV com sobrecarga: Barreiras, Eunápolis e Paraíso serão estudadas, sendo que as correntes de sobrecarga no setor de 138 kV normalmente tem causado menores impactos para os padrões existentes em comparação aos transformadores 230/69 kV.

2.2 ANÁLISE ORÇAMENTÁRIA

Para fins de análise no contexto orçamentário foram abordados três aspectos:

- a) Comparação de orçamento dos transformadores com e sem sobrecarga:

A sobrecarga solicitada para os equipamentos da rede básica conforme procedimento de rede deve ser explicitada na Especificação técnica pois é caracterizada como uma sobrecarga especial e, portanto acarreta num maior custo do equipamento principalmente pelo desenvolvimento do novo projeto térmico e realização de ensaio de tipo específico, este ainda não normatizado pela ABNT. Na CHESF têm sido acordado com os fabricantes a realização do ensaio de elevação de temperatura nos regimes ONAF2 com respectivo desligamento para detecção da elevação de temperatura dos enrolamentos, depois é aplicado o ciclo de carregamento de sobrecarga acordado, que na maioria dos casos tem sido de 20% durante 4h e 40% durante meia hora com todos os registro das temperaturas, por último o equipamento é religado nas perdas máximas de ONAN e realizados os desligamentos novamente, são previstas coletas de gases entre os estágios de ensaio para realização de cromatografia bem como termovisões. Também é considerado imprescindível que o fabricante apresente as características do projeto térmico do

equipamento durante aprovação de projeto para que se possa consolidar sua performance desejada após os ensaios.

Esta diferença de custo dos transformadores com sobrecarga pode ser mais representativa a depender das características nominais do mesmo. Para exemplificar foram coletados valores contratuais para os transformadores de 230/69 kV e 230/138kV de 100 MVA com e sem sobrecarga, onde verificou-se respectivamente uma diferença percentual de 8% e 10% superior para os projetos com sobrecarga.

b) Verificação da remuneração devido à instalação dos transformadores:

As Resoluções autorizativas da ANEEL, são os documentos que abilitam a CHESF a realizar a ampliação na sua planta e determinam, por evento, o valor da remuneração anual a ser recebida através do valor de Receita Anual Permitida – RAP, bem como os respectivos prazos.

Para efeito de análise da Receita Anual Permitida para instalação de transformadores com sobrecarga do Grupo 1 foram analisadas as Resoluções autorizativas ANEEL Nº: 2823 de 22 de março de 2011 e os valores designados para os transformadores a serem instalados nas subestações de Russas, Rio Largo e Tauá II e Nº: 3237 de 6 de dezembro de 2011 para a Subestação de Suape III, sendo esta última sucessora à revisão do sub- módulo 2.3 do procedimento de rede e portanto com sobrecarga.

As Resoluções autorizativas ANEEL Nº: 2891 de 17 de maio de 2011 e Nº: 3929 de 26 de fevereiro de 2013, no tocante às ampliações do 2º e 3º Banco de autotransformadores da Subestação de Milagres e a Resolução autorizativa ANEEL Nº: 3237 de 6 de dezembro de 2011 de Suape II, foram balizadoras para análise da Receita Anual Permitida para os autotransformadores do Grupo 4. Para último grupo foi possível verificar duas constatações interessantes :

- O valor da Receita Anual Permitida atribuída à instalação do 3º Banco de autotransformadores é 15,36% menor que a do 2º Banco da Subestação de Milagres considerando-se a mesma data base, quando deveria ser maior devido a este projeto ser com sobrecarga e portanto de maior custo.
- Esta mesma Receita Anual Permitida P do 3º Banco de autotransformadores de Milagres é 11,17% menor que a do 2º Banco da Subestação de Suape II, considerando-se a mesma data base, apesar de ambos estarem predispostos a sobrecarga, a Resolução de Milagres é mais recente além de possuir projeto diferenciado para atender a requisitos da especificação técnica, o que demandaria um valor superior ou igual.

c) Levantamento de custos dos eventos consequentes à instalação dos transformadores com sobrecarga:

Foi realizada uma análise comparativa do orçamento adicional consequente da instalação dos transformadores para casos do Grupo 1; 2 e 4:

- Grupo 1:
Para todas as instalações com padrão de 1 cabo 954 MCM deve ser prevista a adequação da Interligação de barras 69 kV, no caso de manutenção do mesmo padrão de cabo seriam 2 cabos deste tipo ou utilização de 1 cabo termorresistente e substituição de disjuntores ou seccionadores onde aplicável, convém analisar como deverá ser feito este serviço de forma a evitar que a instalação fique sem o evento de forma a não comprometer a confiabilidade da mesma. Demais requisitos de equipamentos e estudo de barramento devem ser avaliados pontualmente quando da execução de cada projeto.
- Grupo 2:
O caso típico citado denota num orçamento para os eventos consequentes de R\$1.648.000,00 aproximadamente devido ao recondutoramento de todo o barramento de 230 e 69 KV e das adequações das conexões 69 kV existentes. Este valor pode vir a ser maior quando da finalização do projeto por todas as áreas.
- Grupo 4:
O caso mais crítico citado denota numa futura necessidade de recondutoramento do barramento de 230 kV de uma instalação a ser avaliado e, para todas as subestações, o custo de substituição da unidade reserva.

Conforme levantamento dos custos para alguns dos casos acima citados foi realizada uma comparação do percentual que os mesmos representam como proporção do custo para instalação dos transformadores com sobrecarga e conexões, de acordo com valores do padrão Eletrobrás para as conexões na data base de dezembro de 2012, como pode ser observado na tabela 3. Tendo em vista o alto investimento destes eventos, os valores obtidos são dignos de estudo específico antecipadamente.

TABELA 3 – Exemplo de custos adicionais à instalação com ampliação da capacidade transformadora

GRUPO	EVENTO ADICIONAL	CUSTO ADICIONAL (%) COM RELAÇÃO AO EVENTO DE INSTALAÇÃO DOS TRANSFORMADORES
Grupo 1	Instalação de nova BT 69 kV	10,17%
Grupo2	Recondutoramento dos barramentos 230 e 69 kV e adequação das conexões e BT 69 kV	21,65%
Grupo 4	Substituição da unidade reserva	23,62%

3.0 - CONCLUSÃO

Diante das observações relatadas pode-se concluir que para todos os projetos de ampliação de transformação de instalações existentes atendendo ao sub-módulo 2.3 do procedimento de rede do ONS vigente, deve-se realizar estudos do projeto e de fluxo de potência nos barramentos de forma a encaminhar à ANEEL previamente as opções existentes e os custos envolvidos a serem considerados nas Resoluções autorizativas.

Recomenda-se à ANEEL uma atualização do banco de preços para os novos transformadores e autotransformadores com sobrecarga considerados no cálculo da Receita anual permitida, mediante consulta de preços a fabricantes para cada tipo de projeto, com o objetivo de que sejam considerados preços compatíveis com o real investimento a ser dispendido. De forma complementar, deseja-se que a Norma técnica de transformadores da ABNT seja revisada, contemplando a exigência das informações de sobrecarga especial na placa de identificação e a descrição de como devam ser procedidos os ensaios de elevação de temperatura. Na realidade, estas considerações poderiam ter acontecido no mínimo ao mesmo tempo da revisão do referido sub-módulo..

Devido a importância destas instalações no sistema é importante que estas ampliações sejam vistas também como possibilidades de soluções inovadoras que, apesar de não mais tão padronizadas com respeito ao projeto básico, denotem em melhoramentos condizentes com a expectativa de vida útil desejada.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Dimensionamento de barramento aéreo de subestações – Fábio N. Fraga, de 31 de janeiro de 2012.
- (2) Procedimento de rede do ONS, Sub-módulo 2.3 - Requisitos mínimos para transformadores e para subestações e seus equipamentos, revisão 2, de 9 de novembro de 2011.
- (3) Resolução autorizativa ANEEL N°3.237, de 6 de dezembro de 2011.
- (4) Resolução autorizativa ANEEL N°3.929, de 26 de fevereiro de 2013.
- (5) Resolução autorizativa ANEEL N°2.891, de 17 de maio de 2011.
- (6) Resolução autorizativa ANEEL N°2.823, de 22 de março de 2011.
- (7) Estudo de avaliação de carregamento no barramento 230 KV da SE Milagres, de 30 de novembro de 2011.
- (8) Análise do barramento 230 kV da SE Bom Nome – Estudo de fluxo de potência, de 27 de março de 2013.
- (9) Plano de Obras de Transmissão da Região Nordeste - 2012 / 2021 Emissão - 09/2012.
- (10) Brochura 389 do Cigré, B3.11, Combining Innovation with Standardisation, agosto de 2009.