



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

GCQ-19
19 a 24 Outubro de 2003
Uberlândia - Minas Gerais

**GRUPO XIII
GRUPO DE ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS, COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA E QUALIDADE DE
ENERGIA - GCQ**

**ESTUDOS DE PLANEJAMENTO PARA ANÁLISE DOS IMPACTOS DA INSTALAÇÃO DE FORNOS A ARCO
DE GRANDE PORTE EM SISTEMAS DE TRANSMISSÃO**

Jorge L. Teixeira*
CEMIG

Angélica C.O. Rocha
CEMIG

RESUMO

Esse artigo apresenta uma síntese das análises técnicas e econômicas para se definir as condições para o atendimento de um forno a arco de grande porte e avaliar os principais impactos provocados no sistema elétrico, com base nas experiências mais recentes da CEMIG.

São apresentadas formas de se estimar os níveis de flicker na rede, e o montante de compensação controlada necessária para correção destas perturbações. São também apresentados os fatores de atenuação possibilitados pelos principais tipos de compensadores estáticos, bem como indicações dos custos relativos e restrições técnicas de cada um deles.

Mostra-se que, além de se definir os reforços necessários e o nível das perturbações provocadas na rede elétrica, é importante considerar-se a viabilidade dos equipamentos de atenuação.

PALAVRAS-CHAVE

Fornos a arco; Flicker; Qualidade de Energia.

1.0 - INTRODUÇÃO

Os fornos a arco caracterizam-se por comportamento aleatório e não linear, provocando na rede elétrica o aparecimento de componentes harmônicas, desequilíbrios, flutuações de tensão e flicker.

De acordo com o estabelecido na legislação e regulamentação atualmente existentes no setor elétrico brasileiro, as concessionárias de distribuição, juntamente com o ONS, são responsáveis pela qualidade da tensão entregue aos consumidores, enquanto os consumidores são responsáveis pelos danos causados por perturbações geradas por cargas ligadas à rede da concessionária (1), bem como, na qualidade de acessantes, devem observar as normas e padrões técnicos de caráter geral da concessionária ou permissionária proprietária das instalações (2).

Portanto, a partir do momento que a concessionária toma conhecimento e concede a ligação de cargas de caráter perturbador, ela se torna responsável pelos eventuais problemas causados por essas cargas em seu sistema.

Do ponto de vista prático, é recomendável que as concessionárias de distribuição realizem gestões junto aos consumidores ou acessantes antes da ligação dessas cargas. Normalmente, nessa fase ocorrem as negociações para o financiamento dos projetos, o que reduz as dificuldades econômicas para a obtenção de recursos adicionais para a implantação dos equipamentos de atenuação que se mostrarem necessários.

Após a ligação das cargas, mesmo com a ocorrência de reclamações por parte da população atingida pelas perturbações, e mesmo com a clara identificação dos eventuais responsáveis, a solução do problema pode apresentar restrições de caráter econômico, financeiro, e mesmo político e social.

Por esses motivos, antes da instalação de novos fornos a arco, ou da ampliação de fornos existentes, as

* Avenida Barbacena, 1200 - 8º andar - CEP 30190-131 - Belo Horizonte - MG - BRASIL
Tel.: (031) 3349-3457 - Fax: (031) 3349-2943 - E-MAIL: jorgelt@cemig.com.br

concessionárias de energia elétrica têm, entre as principais preocupações, a definição das condições de suprimento aos requisitos da expansão da carga e a avaliação dos impactos das perturbações provocadas por esse tipo de carga em seu sistema.

Assim, para a definição das condições de atendimento são realizadas análises técnicas e econômicas para avaliar a necessidade de reforços na rede elétrica, o montante de investimentos e a rentabilidade do negócio sob o ponto de vista da concessionária, e também para avaliar o impacto das perturbações que porventura venham a ser provocadas por esse tipo de carga no sistema elétrico.

Nos itens seguintes é apresentada uma síntese dos estudos necessários para se avaliar os impactos provocados pela instalação de fornos a arco de grande porte em sistemas de distribuição, tomando por base as experiências recentes da CEMIG nos estudos de planejamento realizados durante as negociações para ampliação de um forno a arco de grande porte, levando em conta os seguintes aspectos :

- Avaliação da capacidade de suprimento e definição dos reforços necessários ao sistema elétrico;
- Regime de operação imposto às transformações;
- Níveis de flicker esperados na rede;
- Montante de compensação reativa controlada necessária para a atenuação das perturbações;
- Viabilidade técnica e econômica das tecnologias disponíveis para correção das perturbações.

2.0 ANÁLISES TÉCNICAS E ECONÔMICAS PARA SUPRIMENTO DA CARGA

Para se definir as condições para o suprimento de uma carga que envolva a instalação ou ampliação de um forno a arco de grande porte, são necessárias análises técnicas e econômicas para se definir os reforços ao sistema elétrico, os impactos das perturbações no sistema, a necessidade de equipamentos de atenuação, bem como os impactos econômicos do projeto para a concessionária.

2.1 Definição das Condições para o Suprimento

Para o atendimento à carga dos fornos a arco, deve-se avaliar a disponibilidade de atendimento, determinar-se os reforços ao sistema elétrico e o montante de investimentos necessários. Nesse sentido, esses consumidores não diferem dos demais consumidores atendidos em tensão de transmissão e subtransmissão.

Na avaliação econômica do projeto devem-se determinar os benefícios e os custos decorrentes do atendimento à carga, sob o ponto de vista da concessionária.

Os benefícios se restringem, basicamente, às receitas e às parcelas dos investimentos a serem pagas pelo consumidor à concessionária. Aspectos outros, tais como satisfação do cliente, benefícios sociais, geração

de empregos e crescimento do mercado consumidor de distribuição associado ao projeto são de difícil quantificação e, normalmente, não são considerados nas avaliações econômicas. Salienta-se, no entanto, que tais aspectos (sociais, políticos, econômicos, etc.) são importantes e podem significar a decisão por parte da concessionária de investir, ou de reduzir exigências para viabilizar o empreendimento.

Em termos de custos, devem ser levados em consideração investimentos, perdas adicionais, impostos e taxas, custos de O&M, além de outros custos que se mostrarem significativos.

Outro aspecto a ser considerado nas avaliações técnicas e econômicas é eventual antecipação de investimentos no sistema elétrico de retaguarda, ocasionadas pela ampliação ou implantação do projeto com o forno a arco. Embora não associadas diretamente aos reforços para o suprimento da carga, esses investimentos podem trazer impactos significativos para o caixa da concessionária.

Um item que não é normalmente considerado nas avaliações econômicas, por ser de difícil quantificação, são os impactos econômicos da degradação da qualidade de tensão da rede devido ao atendimento de cargas perturbadoras de grande porte, tais como fornos a arco, sem os devidos cuidados com a atenuação dos níveis de perturbação provocados pelas novas cargas. Nesse caso, existe o risco dos custos de atenuação de perturbações serem imputados à concessionária, por ter permitido a degradação dos níveis de qualidade de seu sistema.

Esse fato também pode ocorrer se a concessionária adotar os limites globais do ONS como limites por consumidor, abrindo mão da margem para a instalação de novas cargas perturbadoras.

Nesses casos, as conseqüências decorrentes devem ser claramente expostas para orientar a tomada de decisão.

2.2 Impactos da Carga sobre a Qualidade de Tensão na Rede

No tocante às perturbações provocadas por fornos a arco na rede, as preocupações principais são normalmente as correntes harmônicas e as flutuações de tensão.

As componentes harmônicas podem ser atenuadas por meio do dimensionamento e instalação adequada de filtros de harmônicos, respeitando-se os limites recomendados pelos Procedimentos de Rede do ONS (3) e (4).

As flutuações de tensão freqüentemente constituem uma séria restrição. Com o aumento do rigor dos órgãos reguladores do sistema elétrico brasileiro, as concessionárias não poderão correr o risco de relaxar critérios de limitação, uma vez que, nesse caso, isso pode significar uma absorção pela concessionária do

ônus da correção futura das perturbações que vierem a ser provocadas.

Por outro lado, a despeito de restrições estruturais do sistema elétrico, tais como baixos níveis de curto circuito, característicos de sistemas radiais, ocorrem muitas vezes pressões econômicas e sociais pela implantação de projetos utilizando fornos a arco.

Esse impasse poderia ser resolvido pela recomendação da concessionária aos consumidores visando a instalação de equipamentos específicos de atenuação dos níveis de flicker provocados na rede.

Entretanto, é importante destacar que os equipamentos disponíveis, além de custos elevados, possuem limites práticos para os valores máximos de atenuação que proporcionam. Portanto, é do interesse das concessionárias e consumidores avaliar, previamente, os níveis de flicker esperados na rede, a necessidade e o montante aproximado de compensação reativa controlada a ser instalada para a atenuação, e também a *viabilidade técnica e os custos esperados das tecnologias de atenuação*.

2.3 Regime de Operação dos Equipamentos de Transformação da Concessionária

Equipamentos de transformação utilizados para suprimento de fornos a arco podem ser submetidos a grandes variações do carregamento, devido às grandes flutuações no reativo dessas cargas.

A figura 1 apresenta, como exemplo, o ciclo diário de carregamento de um autotransformador 345/138 kV, 150 MVA, que, além de outras cargas, alimenta um forno a arco com potência nominal da ordem de 57 MVA. Observam-se picos de potência acima de 120MVA, isto é, acima de 80% de sua potência nominal, entre 15 e 24 horas, com um máximo de 130MVA.

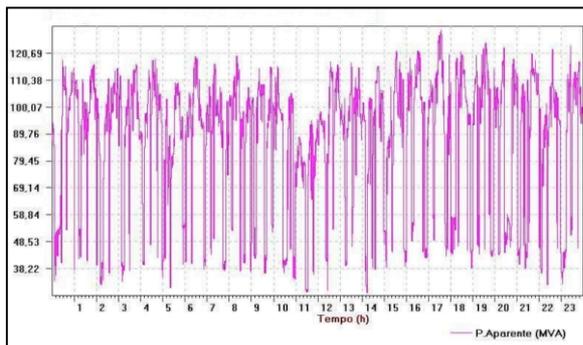


FIGURA 1 - CICLO DIÁRIO DE CARREGAMENTO DE UM TRANSFORMADOR DE ATENDIMENTO A FORNO A ARCO

Devido às essas variações no carregamento, recomenda-se avaliar os impactos do regime de operação imposto aos equipamentos de transformação da concessionária. Essa recomendação torna-se ainda mais forte quando a ampliação da carga pode ser

atendida com equipamentos de transformação já existentes.

O sistema de isolamento dos transformadores de grande porte consiste de materiais orgânicos, essencialmente óleo mineral e papel, cuja vida útil depende da temperatura dos seus enrolamentos que, por sua vez, é função das condições de carga impostas a esses equipamentos. Sendo assim, define-se como sobrecarga um carregamento com intensidade e duração que venham provocar elevações de temperatura superiores às admitidas pela norma brasileira de transformadores NBR 5356, provocando, como conseqüência, uma redução da expectativa normal de vida útil. Dentro desse conceito, pode-se afirmar que uma carga que exceda a potência nominal de placa dos transformadores não é necessariamente uma sobrecarga. Esse tipo de carregamento é denominado carregamento admissível em condição normal de operação.

A análise do carregamento de transformadores que alimentam fornos a arco de grande porte deve ser feita baseando-se no carregamento admissível desses equipamentos tendo em vista à grande variação da carga dos fornos ao longo do seu ciclo de operação, com a ocorrência de curtos-circuitos aleatórios.

Conclui-se, então, que para a avaliação de um possível aumento da potência nominal desse forno considerando-se o mesmo autotransformador, deverá ser determinado o seu ciclo de operação, a partir da potência de curto-circuito prevista para o forno a ser instalado ou ampliado, e a seguir compará-lo com o carregamento admissível em condições normais desse equipamento. O objetivo dessa análise é verificar se esse carregamento será ultrapassado e caso isso ocorra, deverá ser estudado um aumento da capacidade de transformação para suprimento do novo forno.

A metodologia para determinação do carregamento admissível dos transformadores de grande porte (acima de 100MVA) adotada pela CEMIG consiste na utilização de programas computacionais para transformadores fabricados de acordo com a norma brasileira NBR 5416 de julho de 1997 ou consulta a fabricantes para transformadores anteriores a essa norma.

A curva de carga limite considerada para esse cálculo é da figura 2, para qual a temperatura máxima de enrolamento de 105 C° e a perda de vida diária de 0.0369% não devem ser ultrapassadas. O valor de potência B, patamar de 4 horas, deverá ser igual ou superior a carga máxima a ser suprida pelo transformador, isto é, a potência resultante da combinação da potência de curto-circuito do forno com outras cargas adicionais que irão operar em conjunto com o forno. Caso contrário, deverá ser ampliada a capacidade de transformação para suprimento da carga.

É importante observar que, caso seja instalada compensação reativa controlada para correção dos níveis de flicker do forno, naturalmente se espera uma

melhoria das condições de operação das unidades transformadoras da concessionária.

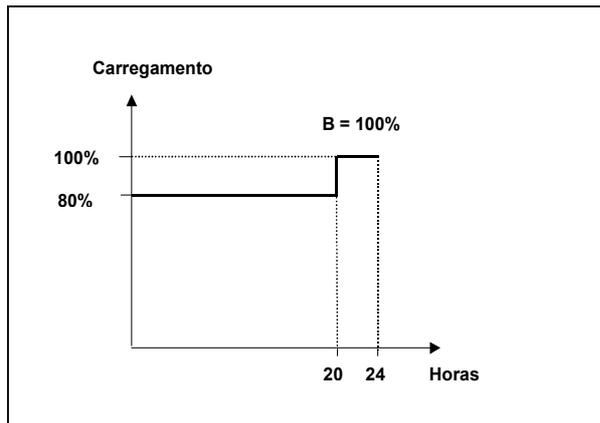


FIGURA 2 - CURVA DE CARGA PARA LIMITE DE CARREGAMENTO DE TRANSFORMADORES

3.0 - ESTIMATIVA DOS NÍVEIS DE FLICKER

Os parâmetros utilizados para avaliação dos níveis de flicker na rede elétrica são o Pst e o Plt , conforme (5). Os procedimentos para a determinação desses parâmetros, juntamente com o equipamento para sua medição, são definidos na norma IEC 868, que registram os valores de flutuações de tensão em uma avaliação estatística da sensação subjetiva de flicker como percebida pelos seres humanos, para lâmpadas incandescentes de 120 ou 230 V, e segundo um limiar de incômodo verificado para 50% de uma amostra populacional.

Nos estudos realizados na fase de planejamento, os níveis de Pst podem ser estimados através de modelos complexos de simulação, que levem em consideração o comportamento do arco elétrico, as características aleatórias da carga, os parâmetros da rede elétrica, os equipamentos de compensação controlada, e a representação do flicker-meter conforme o padrão estabelecido pelo IEC. Esses modelos, embora desejáveis, apresentam grande complexidade na implementação, e normalmente requerem o levantamento de parâmetros de caráter não linear, que requerem grandes conhecimentos teóricos e práticos do processo a ser modelado.

A abordagem adotada nesse trabalho considera uma análise mais simplificada, pela qual os valores esperados para os níveis de flicker, que poderiam ser provocados em uma rede elétrica, são estimados a partir dos seguintes fatores:

- Níveis de curto-circuito no ponto de acoplamento;
- Curto circuito máximo do forno;
- Condições de funcionamento esperadas para o forno;
- Fatores de transferência entre a alta, extra-alta e baixa tensões.

Embora simplificada, essa abordagem é, ainda assim, capaz de fornecer resultados suficientemente precisos para uma avaliação preliminar dos níveis de flicker que

poderiam ser provocados na rede, da viabilidade técnica da correção, e dos impactos econômicos para o projeto, considerando-se os critérios de limitação recomendados para o setor elétrico brasileiro.

3.1 Níveis de Curto-Circuito Trifásico no Ponto de Acoplamento

Os níveis de curto circuito devem ser considerados no ponto de acoplamento entre o sistema de suprimento ao consumidor e o sistema elétrico de atendimento aos consumidores de distribuição em baixa tensão que poderiam ser afetados pelo flicker.

O ponto de acoplamento (PAC) não coincide necessariamente com o ponto de conexão na rede do consumidor ou acessante possuidor da carga perturbadora, podendo ser considerado na rede de subtransmissão da distribuidora ou da Rede Básica, em função da configuração do sistema elétrico.

Em princípio, recomenda-se que sejam adotados nos cálculos os níveis de curto-circuito previstos para o ano inicial de operação da nova carga.

3.2 Curto-Circuito Trifásico Máximo do Forno

Os níveis de curto-circuito máximos do forno podem ser calculados a partir dos parâmetros elétricos de sua rede de alimentação.

Esse circuito inclui os seguintes parâmetros:

- Impedâncias da rede elétrica do PAC ao transformador do forno;
- Impedância de dispersão do transformador AT-BT do forno;
- Impedância dos condutores flexíveis de BT e dos eletrodos.

Nessas condições, o transformador de suprimento do forno deve ser considerado com o tape de maior tensão do secundário ligado.

Quando não se dispuser dos parâmetros elétricos do circuito de média e baixa tensão do forno, uma estimativa do curto circuito trifásico (SCC_{eqf}) pode ser obtida em função da potência nominal do forno (S_N), conforme a expressão empírica a seguir:

$$SCC_{eqf} = 1,1 \cdot \sqrt{2} \cdot S_N \quad (1)$$

Quando vários fornos a arco estiverem ligados à mesma barra, deverá ser considerada a composição dos efeitos combinados dos fornos, através de um forno equivalente, conforme expressão a seguir, já adotada desde as antigas recomendações do GCOI/GCPS(6), em função das potências de curto-circuito de cada forno (SCC_i):

$$SCC_{eqf} = \sqrt{\sum SCC_i^m} \quad (2)$$

Na expressão (2), m pode assumir valores de 1 a 4, sendo tanto maior quanto menor for a possibilidade de coincidência dos ciclos de operação dos fornos. Essa expressão mostra que nos casos mais comuns sempre predomina o efeito do maior forno.

3.3 Condições de Operação do Forno

De uma forma genérica, o nível de flicker provocado pela operação de um forno a arco em uma rede elétrica é, aproximadamente, proporcional ao nível de curto circuito máximo do forno, e inversamente proporcional aos níveis de curto circuito no ponto de acoplamento.

Esses dois parâmetros são relacionados através de um coeficiente de proporcionalidade, K_{st} , função das características específicas de projeto elétrico e metalúrgico do forno, das características da sucata utilizada, do emprego ou não de partículas de minério de ferro e de outros fatores, podendo, portanto, assumir valores diferentes, até para um mesmo forno.

De uma forma geral, esse coeficiente varia na faixa de 50 a 85, sendo 67 o valor correspondente à média da faixa (7). Esse valor corresponde às estimativas de flicker para 99% das medições. Entretanto, como se trata de um valor indicativo, pode ser estendido a avaliações para flicker em 95% das medições.

3.4 Fatores de Transferência

O fator de transferência FT reflete a atenuação dos níveis de flicker provocados por um forno ligado à rede de transmissão, quando medidos na rede de distribuição em baixa tensão.

Os Procedimentos de Rede do ONS, no Submódulo 2.2 recomendam a adoção dos seguintes fatores de atenuação entre os níveis de flicker provocados por um forno ligado a um barramento da rede básica:

TABELA 1 – FATORES DE TRANSFERÊNCIA

Tensão Nominal do Barramento (PAC)	Fatores de Transferência (FT)
$V \geq 230 \text{ kV}$	0,65
$69 \text{ kV} \leq V < 230 \text{ kV}$	0,80
$V < 69 \text{ kV}$	1,00

A proposição desses fatores se baseia tanto na experiência internacional, quanto na nacional, a partir das atividades do Grupo de Qualidade de Energia do ONS. Os valores recomendados pelo ONS representam valores típicos verificados para o sistema brasileiro.

3.5 Estimativa dos Valores de Pst

Os valores de Pst provocados na rede de baixa tensão podem ser obtidos pela seguinte expressão:

$$Pst = FT \cdot K_{st} \cdot \frac{SCC_{eqf}}{SCC_{SIST}} \quad (3)$$

4.0 ESTIMATIVA PRELIMINAR DO MONTANTE DE COMPENSAÇÃO REATIVA CONTROLADA

As soluções mais comuns para atenuação dos níveis de flicker provocados por fornos a arco de grande porte no sistema elétrico consistem normalmente na aplicação de equipamentos de atenuação do tipo compensação reativa controlada do tipo shunt, embora esta possa ser combinada com compensação série. Nesse trabalho foi considerada apenas a utilização de compensação reativa controlada do tipo shunt.

O montante de compensação controlada necessário para a correção de flicker é função dos seguintes fatores :

- Limites adotados para os níveis de flicker na rede;
- Níveis de curto-circuito no ponto de acoplamento;
- Valores de Pst provocados pelo forno não compensado;
- Tecnologia utilizada na compensação e controle das flutuações de tensão.

Os limites de flicker atualmente utilizados no setor elétrico brasileiro são os valores recomendados pelo ONS nos Procedimentos de Rede, conforme (1) e (2), estabelecendo limites globais e para os acessantes à Rede Básica. Nesse trabalho foram consideradas apenas cargas novas ou ampliação de cargas existentes.

Embora não tenham ainda sido homologados pela ANEEL, esses limites foram aprovados pelo ONS, e se referem às instalações do sistema elétrico sob a responsabilidade do ONS. Os valores recomendados estão na tabela a seguir para novos consumidores:

TABELA 2 – LIMITES GLOBAIS DE FLICKER

Limites Globais		
Limite	$PstD95\%$	$PltS95\%$
Global Inferior	1pu/FT	0,8pu/FT

O $PstD$ é valor de Pst superior a 95% dos valores medidos durante um dia, enquanto o $PltS$ é o valor de Plt superior a 95% dos valores medidos durante uma semana.

Como ainda não foi estabelecida nenhuma regulamentação para os sistemas de distribuição, em princípio recomenda-se a adoção dos limites da Rede Básica. Os níveis de curto circuito são do conhecimento da Distribuidora, ou da Transmissora, e os valores esperados de Pst podem ser obtidos pela expressão (3).

Considerando-se o fato de se tratar de uma análise preliminar, propõe-se a seguinte expressão para avaliação preliminar dos montantes de compensação necessária para atenuação dos níveis de flicker (SCC_{COMP}), a partir dos valores de Pst estimados, e do limite desejado ($LimPst$):

$$SCC_{COMP} = K_{SEG} \cdot (Pst - LimPst) \frac{1}{FT \cdot K_{st}} \cdot SCC_{SIST} \quad (4)$$

Na expressão, K_{SEG} é um parâmetro introduzido para representar a tendência dos fatores de atenuação para um certo valor de saturação à medida que o grau de compensação do forno se eleva. Em situações onde se necessita de um valor muito elevado da atenuação do flicker, e um elevado grau de compensação do forno, a eficiência dos equipamentos de atenuação se reduz, e o valor de K_{SEG} se eleva. Como valor de referência considerou-se K_{SEG} igual a 1,2.

Os valores limites para o Pst são os estabelecidos nos procedimentos de rede. Esses limites são válidos para medidores calibrados para a tensão nominal da rede onde estiverem realizando as medições. Caso sejam tomados como referência valores medidos por instrumentos calibrados para 220 V, para se avaliar os níveis de flicker em 127 V, o valor de $LimPst$ deverá ser multiplicado por 1,3.

Como não existe ainda uma regulamentação para as redes de distribuição, em princípio, consideram-se os limites da Rede Básica. Entretanto deve ser ressaltado que, ao se adotarem os limites globais como referência, a concessionária de distribuição corre o risco de "saturar" os níveis de flicker em seu sistema.

5.0 CAPACIDADE DE ATENUAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DISPONÍVEIS NO MERCADO

A capacidade de atenuação varia para cada fabricante, tanto no tocante aos vários tipos de equipamentos utilizados (Compensadores do tipo RCT, STATCOM, soluções combinadas do tipo RCT e reator série, etc.) quanto aos detalhes de projeto utilizado na malha de controle dos compensadores.

Um parâmetro bastante útil para se avaliar a adequação de um tipo de compensador é o fator de atenuação requerido. Esse fator de atenuação pode ser calculado da seguinte forma:

$$k_A = \frac{Pst}{LimPst} \quad (5)$$

Esse parâmetro pode ser informado aos fabricantes, ao se solicitar indicações e custos referenciais de equipamentos de atenuação.

5.1 Limites Técnicos

Devido, entre outros fatores, às restrições impostas pelo tipo de chaveamento, à taxa de amostragem, aos atrasos inerentes ao sistema de controle e às características aleatórias do comportamento do arco, a redução dos níveis de flicker proporcionada por compensadores estáticos nunca é total.

Os equipamentos de atenuação disponíveis no mercado só se mostram efetivos até determinados níveis de atenuação, a partir dos quais o aumento da compensação se mostra inócuo. Esses limites variam de acordo com o tipo de compensador utilizado, e também com o fabricante.

Entretanto, conforme informações de alguns dos principais fabricantes atuando no setor elétrico brasileiro, pode-se estabelecer algumas orientações gerais a respeito.

5.1.1 Compensadores Estáticos do Tipo Reator Controlado a Tiristores (TCR)

Compensadores estáticos desse tipo admitem fatores de atenuação máximos em torno de 2. Esses compensadores utilizam a tecnologia dos tiristores, mais antiga e portanto mais barata. Ressalta-se que a eficiência dessa tecnologia é contestada por alguns fabricantes, embora seja utilizada por várias décadas na atenuação de flicker provocado por fornos a arco.

5.1.2 Compensadores Estáticos do Tipo Statcom

Compensadores estáticos desse tipo utilizam em geral a tecnologia PWM, empregando componentes do tipo IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistors) e GTO (Gate Turn-Off Thyristor), e permitem tempos de resposta muito menores, tornando mais efetivo o controle, admitindo, conforme informações de fabricantes, fatores de atenuação muito maiores, de cerca de 5 vezes. Esses compensadores não requerem filtros de harmônicos, como em geral exigem os compensadores estáticos do tipo RCT. Entretanto, como se trata de uma tecnologia mais recente, apresenta custos da ordem de 70 % mais altos que os compensadores do tipo TCR equivalentes, requerendo, além disso, maiores cuidados quanto à confiabilidade e garantia do funcionamento.

5.2 Limites Econômicos

De posse das estimativas do montante de compensação reativa controlada, bem como de sua viabilidade, poderão ser obtidas estimativas dos custos dos equipamentos de atenuação. Esses custos, somados aos valores necessários para os reforços necessários para o sistema elétrico, tornam possível uma avaliação mais realista dos investimentos requeridos para o suprimento elétrico e mesmo para a implantação do projeto como um todo.

Entretanto, ressalta-se que esses resultados são indicativos, e que avaliações precisas só serão possíveis após o detalhamento do projeto.

6.0 - CONCLUSÕES

Esse artigo apresenta uma síntese das análises técnicas e econômicas necessárias para se avaliar os impactos provocados pela instalação de fornos a arco de grande porte em sistemas de distribuição, com base nas experiências recentes da CEMIG nos estudos de planejamento realizados durante negociações para ampliação de um forno a arco de grande porte.

São analisados aspectos a serem considerados na análise técnica, tais como os reforços necessários para o atendimento, e o regime de operação imposto aos equipamentos de transformação da concessionária, e

aspectos econômicos, considerando-se a rentabilidade do investimento.

No tocante às perturbações provocadas na rede elétrica são apresentadas formas de se avaliar os níveis de flicker que seriam provocados na rede, e de se estimar o montante de compensação controlada necessária. São apresentados alguns limites indicativos dos fatores de atenuação de flicker permitidos pelos compensadores estáticos disponíveis no mercado, e indicações dos custos relativos e restrições técnicas de cada um deles.

Mostrou-se a importância de se considerar os limites técnicos dos equipamentos de atenuação de flicker disponíveis, bem como estimar-se os custos de sua instalação ainda na fase de planejamento.

Ressalta-se que a metodologia proposta é simplificada, e, caso o projeto venha a se concretizar, devem ser realizadas análises mais detalhadas, bem como um acompanhamento sistemático pela concessionária das fases de estudos, projeto, especificação, comissionamento e testes dos equipamentos que se fizerem necessários para a atenuação dos níveis de flicker provocados pela instalação ou ampliação de um forno a arco .

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ANEEL - Resolução no 456, de 29 de novembro de 2000;
- (2) ANEEL - Resolução no 281, de 01 de outubro de 1999;
- (3) ONS - Procedimentos de Rede - Submódulos 2.2 - Padrões de Desempenho da Rede Básica – 10/2000;
- (4) ONS - Procedimentos de Rede - Submódulos 3.8 - Requisitos Mínimos Para a Conexão à Rede Básica 01/2000.
- (5) MACGRANAGHAN, MARK; MUELLER, DAVE; RIBEIRO, PAULO - “Phase 1 - Review and Recommendations for the ONS Power Quality Manegement System(PQMS). 2002.
- (6) GRUPO COORDENADOR DO PLANEJAMENTO DOS SISTEMAS ELÉTRICOS - GCPS / COMITÉ TÉCNICO PARA ESTUDOS DE SISTEMA DE TRANSMISSÃO - CTST/GRUPO DE TRABALHO PARA ESTABELECIMENTO DE CRITÉRIOS – GTCP - “Critérios e Procedimentos Para o Atendimento a Consumidores com Cargas Especiais”- Rio de Janeiro - 1993.
- (7) COULRALT, JAQUES; SANHET, JEAN-LOUIS - “Flutuations de Tension et Flicker - Évaluation et attenuation (partie 2)” - Techniques de l’Ingenieur - Alstom.