

Proposta Metodológica para Análise de Perdas em Alimentadores Considerando os Indicadores de Qualidade de Energia

A. C. M. Valle, EEEU-UFG, A. M. Oliveira, EEEU-UFG, G. A. A. Brigatto, EEEU-UFG e M. B. Alvarenga, EEEU-UFG

RESUMO

Atualmente, sabe-se que os níveis de perdas em qualquer sistema compromete diretamente os preços do produto, podendo ainda trazer reflexos negativos na qualidade deste, bem como solicitar esforços para o descarte ou processamento adicional dos insumos perdidos.

No setor energético não é diferente. As perdas elétricas, além de representarem um escoamento direto da matéria comercializada, fator este que deve ser agregado ao preço do produto, implica em prejuízos técnicos aos componentes do sistema através de aquecimentos, fadigas, sobrecargas, reduções da vida útil etc., que por sua vez também apresentam conseqüências no valor final da energia elétrica consumida.

No sistema de distribuição, o problema das perdas é agravado pela propagação dos mais diversos tipos de perturbações que afetam diretamente a qualidade da energia, o que implica em custos adicionais de ressarcimento quando os níveis de tensão não atingem os valores exigidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL.

Deste modo, considerando a falta de legislação específica para a padronização da metodologia de determinação das perdas elétricas em alimentadores de 13,8 kV, este trabalho revela uma seqüência de operações, que informa, com base em um cálculo de fluxo de carga aliado a um banco de dados de leitura de perfis de diversos consumidores de energia elétrica, as perdas elétricas em alimentadores de distribuição, bem como os valores de ressarcimento a clientes não atendidos em tensões de fornecimento nos parâmetros legais estipulados.

O trabalho é estruturado em três partes: a primeira aborda um levantamento de informações sobre consumidores de energia elétrica, efetuado através de medições práticas, e informações sobre os sistemas de distribuição. A segunda parte efetua o cálculo das perdas de energia elétrica nos sistemas de distribuição, através de uma rotina de fluxo de carga, com base nos dados levantados. Por fim, uma terceira rotina verifica quais partes do sistema infringe os valores de tensão de fornecimento e determina os custos de ressarcimentos, valores estes até então não considerados no preço das perdas de energia elétrica.

Conseqüentemente, os resultados obtidos eliminam as aproximações usuais que se aplicam através do uso de valores subjetivos como fator de carga, fator de perdas e Fator K.

PALAVRAS-CHAVE

Desequilíbrio de Tensão; Fator de Carga; Flutuação de Tensão; Harmônicos; Qualidade da Energia Elétrica.

Este trabalho é desenvolvido sob o apoio financeiro da CELG - Companhia Energética de Goiás.

A. C. M. Valle (e-mail: anaclaudia@eee.ufg.br), A. M. Oliveira (e-mail: melo@eee.ufg.br) e G. A. A. Brigatto (e-mail: gelson@eee.ufg.br) são professores na Escola de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Federal de Goiás.

M. B. Alvarenga (e-mail: marcosbalduino@yahoo.com.br) é mestrando em Processamento e Qualidade da Energia Elétrica na Escola de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Federal de Goiás.

I. INTRODUÇÃO

Qualidade do latim “qualitate” se diz à propriedade, atributo ou condição das coisas capaz de distingui-las das outras e de lhes determinar a natureza, bem como numa escala de valores nos permite avaliar e, conseqüentemente, aprovar, aceitar ou recusar qualquer coisa.

Em engenharia a Qualidade da Energia Elétrica se origina do termo inglês “Power Quality”, porém os conceitos tornam-se variados conforme as partes interessadas na questão. Assim para a concessionária a qualidade da energia elétrica pode ser considerada satisfatória se os índices de confiabilidade e níveis de fornecimento estiverem estáveis, porém nestas mesmas condições, determinadas perturbações podem impossibilitar o uso da energia para determinados fins de um dado consumidor.

Frente à intensa utilização de cargas não-lineares em consumidores de forma geral (residências, fábricas, etc.), a energia comprada no padrão “da concessionária” é modificada dentro das instalações elétricas da unidade consumidora, gerando um resíduo que é lançado ao sistema elétrico de distribuição, atingindo desde alimentadores 13,8 kV até os níveis de transmissão.

A popularização de dispositivos eletrônicos trouxe aos sistemas elétricos uma preocupação antes limitada aos níveis de tensão e frequência de interrupções. São estas cargas simultaneamente sensíveis às variações elétricas e geradoras de distúrbios. Tendo em vista que os consumidores são atendidos por vias comuns de fornecimento, torna-se plausível considerar que a energia elétrica é um bem comum, tal qual as ruas e avenidas de uma cidade. Portanto, os cuidados necessários para tornar os meios de suprimento elétrico adequados às novas exigências de seus consumidores justificam a atenção prestada tanto pelos fornecedores quanto pelos consumidores atendidos.

Outro fator que propulsiona a discussão sobre a qualidade da energia elétrica é o Código de Proteção e Defesa do Consumidor, promulgado pela Lei 8079 de 11 de novembro de 1990, atendendo as necessidades da constituição de outubro de 1988, onde foi inscrito, dentre os direitos individuais e coletivos, a garantia de que o Estado assegurará a defesa do consumidor. Tal feito tornou-se o comércio da energia elétrica um processo sujeito às análises de diversos parâmetros, antes ignorados por desconhecimento da maioria de seus consumidores.

Da mesma forma, a reforma do Estado no Brasil começou a ser desenhada com a aprovação da Lei de Concessão dos Serviços Públicos, Lei 8.987, de fevereiro de 1995. Os artigos dispostos nesta primeira iniciativa precisavam ser aprofundados para permitir o ingresso de recursos da iniciativa privada no aumento da oferta de energia elétrica. Então, quatro meses depois, em julho de 1995, a Lei 9.074 regulamentou a legislação anterior no que diz respeito ao mercado de energia. No ano seguinte, a Lei 9.427, em 26 de dezembro de 1996, criou a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), cujo regulamento foi definido no Decreto 2.335, em 6 de outubro de 1997.

As resoluções da ANEEL têm aumentado as exigências sobre a qualidade do produto energia elétrica. Em função dessas crescentes exigências, torna-se imperativo que o sistema de distribuição se adeque a esse posicionamento.

Como exemplo, a resolução ANEEL 505, de 26 de novembro de 2001, estabelece margens de flutuação de tensão bastante estreitas e ainda, formas de ressarcimento ao consumidor pelo atendimento inadequado. Soma-se a isso, a exigência da resolução ANEEL 024, de 27 de janeiro de 2000, com relação à continuidade de fornecimento, a qual apresenta exigências maiores em relação a DNAE 048, como também o direito de ressarcimento ao consumidor. O padrão de qualidade do produto energia elétrica, no Brasil, não está completamente definido. A legislação (normas) se encontra bastante defasada em relação aos Estados Unidos e Europa.

II. OBJETIVOS

O objetivo do presente estudo é desenvolver uma proposta de metodologia para cálculo de perdas em alimentadores com o emprego de perfis de carga unitários estatísticos e de um programa de Fluxo de Carga.

Através da rotina operacional é possível também a avaliação dos custos de ressarcimento à consumidores cuja a tensão de fornecimento não atinja os valores estipulados pelas portarias da ANEEL, tornando-se um poderoso instrumento de análise para a gestão dos recursos de manutenção e ampliação do sistema de distribuição de energia elétrica.

Sabendo-se que os transformadores instalados ao longo dos alimentadores de 13,8 kV trazem problemas para a qualidade da energia elétrica, gerando harmônicos de corrente quando operando a vazio ou sob pequenas cargas e causando sobretensão pela regulação, será possível através, dos perfis de carga dos consumidores, determinar uma relação kVA/Consumidor que venha mitigar estes problemas.

Os estudos efetuados sob a óptica dos indicadores de qualidade da energia elétrica abordam os fenômenos elétricos no domínio da frequência, acatando as limitações técnicas e matemáticas avaliadas.

III. METODOLOGIA

Os aspectos metodológicos deste projeto se concentram em três áreas distintas que convergem no objetivo estipulado. São elas:

- Levantamento estatístico do perfil de carga, através de medidas em campo, para definir o real perfil das cargas supridas pelo alimentador;
- Levantamento de dados de alimentadores do sistema de distribuição.
- Implementação de um programa de fluxo de carga;

Para a análise e processamento das informações, será desenvolvido um programa computacional que se apoia neste conjunto tríplice supridor. A partir deste instante, as informações serão processadas e analisadas em um único ambiente, facilitando a operação do processo.

A. Levantamento Estatístico do Perfil de Carga

Através de medições sistemáticas, são determinados estatisticamente os perfis de demanda típica das unidades consumidoras, segundo a sua classe e subclasse. Portanto, para a determinação de um único perfil típico, são necessárias várias medições em diferentes consumidores da mesma classe e subclasse.

Em condições normais, os equipamentos são instalados após o transformador quando este for dedicado, e junto à caixa de proteção a montante dos medidores das unidades consumidoras, conforme ilustra a figura 1.

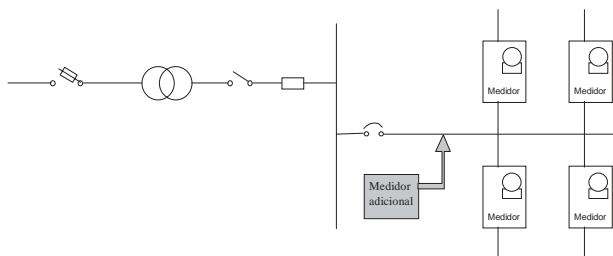


FIGURA 1 - Diagrama de locação de medidores de perfis.

Nestes levantamentos, optou-se por medir perfis de carga de conjunto de consumidores enquadrados na mesma classificação (conjuntos ou edifícios residenciais, comerciais com atividades similares, prédios com composição de carga uniforme etc.), como forma de corrigir eventuais anormalidades no comportamento típico de um consumidor.

Os consumidores serão discriminados de acordo com a classe, admitindo-se subclasse conforme o tipo:

Residencial: classificar-se-á pela faixa de consumo, o que expressa a classe social da unidade, gerando desta forma as subclasses de consumidores residenciais A, B, C, D e E.

Comercial: para que seja possível distinguir as particularidades nos perfis devido à composição de carga inerente à atividade comercial desempenhada, a classificação se faz por tipo de atividade do estabelecimento comercial (escritórios, lojas, farmácias, oficinas etc.);

Industrial: em virtude das unidades industriais possuírem cargas elevadas e em pequena quantidade, o que torna difícil agrupá-las em uma atividade comum, não há subdivisão em subclasses. Quando compuser uma carga de um alimentador, efetua-se o levantamento de seu perfil ou utiliza-se o perfil de uma outra existente.

Outros tipos: unidades de outros tipos que consomem energia elétrica atendendo as mesmas particularidades poderão compor uma própria subclasse, como por exemplo, repartições públicas, escolas, hospitais etc.

Os equipamentos de medição são instalados junto ao disjuntor geral da edificação, quando existir, ou em qualquer outro ponto da instalação que permita a monitorização de todas as unidades simultaneamente.

A parametrização dos equipamentos é efetuada de modo que seja arquivado, na memória de massa: potência ativa total, potência reativa total considerando as componentes harmônicas, corrente na fase A, corrente na fase B, corrente na fase C, tensão na fase A, tensão na fase B e distorção harmônica total - THD. As grandezas elétricas registradas são integralizadas em intervalos de cinco minutos.

As medidas das potências ativa total e reativa total considerando as componentes harmônicas são utilizadas diretamente na rotina do fluxo de carga, e as demais grandezas serão monitoradas para averiguações e estarão a disposição para estudos futuros.

Os medidores permanecem em cada agrupamento de consumidores durante o prazo mínimo de duas semanas, prazo este maior que o fixado pela ANEEL através da Resolução 505, para estudo de flutuação de tensão nas unidades consumidoras. Neste período espera-se um valor superior a quatro mil e trinta e dois registros, que resultarão a média semanal composta por dois mil e dezesseis registros espaçados em intervalos de tempo de cinco minutos, iniciando as zero hora de domingo e finalizando às vinte e três horas e cinquenta e cinco minutos do sábado de uma mesma semana.

B. Levantamento de Dados dos Alimentadores

Para a execução do fluxo de carga, é necessário, junto à concessionária local, um levantamento de dados de cada alimentador do sistema de distribuição escolhido, para testar a metodologia.

Cada alimentador é subdividido por trechos, correspondentes ao intervalo entre transformadores e ramificações do alimentador, que se constituirão nas barras do sistema.

Os dados por trechos compreendem a impedância série da linha de distribuição (R e X). A susceptância shunt de linha não é considerada no modelamento (modelo PI), visto ser desprezível em sistemas de distribuição.

A obtenção destes dados necessita do conhecimento da resistência e reatância indutiva por quilômetro dos ca-

bos usados em cada alimentador. A resistência por quilômetro é um dado do fabricante e a reatância está relacionada ao tipo de disposição dos cabos.

A concretização desses dados necessita das distâncias entre as barras, informação esta que pode ser obtida por um mapa em escala do sistema de distribuição ou por levantamento "in loco" da localização dos transformadores, que, uma vez anotados em um mapa, pode-se calcular as distâncias requeridas.

C. Implementação de um Programa de Fluxo de Carga

Conhecendo-se os perfis de carga dos consumidores que compõem o alimentador objeto de estudo, pode-se equacionar as condições de operação em regime do sistema elétrico do alimentador, visando o cálculo de perdas, violações de tensão e outros resultados de interesse.

A solução de um Sistema Elétrico de Potência (SEP) resume o chamado Problema do Fluxo de Carga (PFC) e consiste em determinar o estado operativo (magnitude e ângulo das tensões nodais) de um sistema elétrico para uma certa condição (perfil) de carga da rede, que é o objetivo básico do PFC, bem como determinar as injeções de potência nas barras e os fluxos de potência nos ramos (linhas de distribuição e transformadores).

No Problema do Fluxo de Carga, assume-se que a modelagem de uma rede elétrica é estática, isto é, variações no perfil de carga da rede no tempo são suficientemente lentas para que se possa ignorar os efeitos transitórios. Além disso, admite-se que a rede opera de maneira equilibrada em suas três fases e, portanto, uma representação unifilar é suficiente, com os elementos passivos do sistema modelados via parâmetros concentrados. Assim, a rede elétrica é modelada por um conjunto de equações algébricas que constituem o modelo estático da rede e compõem o PFC.

Uma das primeiras técnicas de análise de redes elétricas de potência é a chamada análise nodal, que consiste em resolver uma equação complexa linear matricial, chamada equação nodal da rede, cuja constante que relaciona o vetor das injeções de corrente complexa nas barras com o vetor das tensões complexas destas barras é a chamada matriz admitância da rede.

Sabe-se que no problema de fluxo de carga, as injeções de corrente complexa nas barras normalmente não são conhecidas inicialmente, uma vez que gerações e cargas são conhecidas em termos de potência e a determinação das injeções de corrente necessitaria do estado da rede. Além disso, a equação nodal não contempla barras de tensão controlada e de fechamento do balanço de potência, pois considera que todas as injeções de corrente nas barras são constantes. Logo, para a determinação do PFC de um SEP, a formulação deve contemplar as potências injetadas e transmitidas no sistema, o que nos leva a um equacionamento não-linear porque a relação entre a tensão e potência não é linear.

A solução da formulação não linear do PFC consiste em associar-se quatro variáveis a cada barra da rede, sendo duas conhecidas (entram no problema como dados) e duas indeterminadas (incógnitas), que são:

V_k - magnitude da tensão nodal de uma barra k ;

θ_k - ângulo da tensão nodal;

P_k - injeção líquida (geração menos carga) de potência ativa na barra k ;

Q_k - injeção líquida de potência reativa na barra k .

Assim, cada barra k do sistema pode ser classificada com relação às variáveis conhecidas e indeterminadas.

Barra PQ- conhece-se P_k e Q_k da barra k e determina-se V_k e θ_k . Conhecida como barra de carga, são consideradas deste tipo normalmente as barras onde existem suprimento a consumidores, de chaveamento e ainda as fictícias, criadas para representar certos pontos de interesse na rede;

Barra PV- conhece-se P_k e V_k e determina-se Q_k e θ_k . Conhecida como barra de tensão controlada, é onde se deseja manter a magnitude da tensão constante, independente da ocorrência de alteração no perfil de carga ou contingência no sistema. Normalmente são representadas como barras desse tipo, aquelas onde estão conectados geradores, compensadores síncronos e outras fontes de potência reativa;

Barra V θ - conhece-se V_k e θ_k e determina-se P_k e Q_k . Também conhecida como barra de referência, a ela compete duas funções:

- 1º) fornecer a referência angular, pois as equações do PFC são funções das aberturas angulares (θ_{km}) dos ramos, ou seja, o PFC é indeterminado nas variáveis θ , o que torna necessária uma referência angular ;
- 2º) fechar o balanço de potência do sistema, onde são calculadas as perdas ativas e reativas de transmissão, não conhecidas antes de se ter a solução final do problema.

Dessa forma, um sistema com NB barras será modelado por $2NB$ equações reais (P_k e Q_k para cada barra), não-lineares e com $4NB$ variáveis (P_k , Q_k , V_k e θ_k), sendo $2NB$ especificadas (de acordo com o tipo de barra: PQ, PV ou V θ). Logo, o Problema de Fluxo de Carga se resume a um sistema de $2NB$ equações com $2NB$ incógnitas, o que torna o modelo compatível para sua resolução.

Devido ao fato das equações básicas do PFC serem de forte natureza não-linear, sua solução exige métodos iterativos e emprego computacional devido ao elevado número de barras dos sistemas elétricos e, conseqüentemente, de equações. Sua solução é obtida utilizando-se métodos computacionais desenvolvidos especificamente para a resolução deste sistema de equações, sendo os que apresentam o maior interesse prático são o Método de Newton e os Métodos Desacoplados Rápidos.

O Método de Newton é um método numérico geral para a determinação de raízes de um sistema de equações algébricas não lineares. Consiste em obter um vetor de correções das incógnitas do sistema de equações, tal que a função vetorial obtida pelos dois primeiros termos da Série de Taylor aplicada na linearização do sistema de equações seja igual a zero. A grande vantagem do Método de Newton é a sua convergência quadrática e, quanto mais próximo se está da solução, mais rápido o método tende a convergir para ela. Porém, um sério problema computacional do Método de Newton é a necessidade de inverter a matriz Jacobiana a cada iteração e o tempo de solução torna-se elevado em sistemas de grande porte.

A resolução das equações do PFC através do Método de Newton é somente um método matemático para se chegar à sua solução (obter convergência), sem exercer qualquer influência sobre o valor numérico obtido. Em linguagem figurada, pode-se dizer, então, que o processo de convergência é um percurso entre dois pontos (o inicial e a solução), que pode ser percorrido por diferentes caminhos e, nesse sentido, a robustez da convergência do Método de Newton permite aproximações na formação da matriz Jacobiana, a tal ponto que ela pode ser mantida constante durante todo o processo, com o objetivo de se evitar recalculá-la e refatorá-la a cada iteração.

Assim, sob esta óptica, surgiram os chamados Métodos Desacoplados Rápidos, derivados do Método de Newton, onde a solução é desacoplada em dois subproblemas: P θ e QV, com a matriz Jacobiana substituída por duas matrizes simétricas, constantes e de mesma esparcidade das submatrizes da Jacobiana. O processo de solução dos métodos desacoplados consiste em aplicar um esquema de resolução alternada dos subproblemas P θ e QV, isto é, a cada meia-iteração, a variável θ é atualizada resolvendo-se o subproblema P θ e V é atualizada ao resolver-se o subproblema QV. Cada subproblema utiliza sempre os valores de V e θ atuais e o processo pára quando os dois subproblemas estão convergidos.

Os Métodos Desacoplados Rápidos não possuem a convergência quadrática do Método de Newton, porém, o tempo de computação e os gastos com memória são menores, possuem convergência bastante confiável e são de fácil implementação computacional. Por causa disso, ultimamente os Métodos Desacoplados Rápidos tem sido cada vez mais utilizados em aplicações "on-line" relacionadas ao controle e supervisão das redes.

IV. SISTEMA METODOLÓGICO PARA ANÁLISE DE PERDAS EM ALIMENTADORES

Para implementar a metodologia de análise de perdas em alimentadores proposta neste trabalho, será implementado um programa computacional na linguagem C++, para que

seja viável a execução do processo em tempo reduzido e com o menor esforço humano e operacional possível.

Este sistema é composto por três grandes blocos, doravante chamados de ambientes. Cada ambiente processa um conjunto de informações advindas do ambiente anterior, ou de informações fornecidas pelo usuário do sistema, e gera um produto que será processado no próximo ambiente ou, no caso do último ambiente, fornecido ao usuário.

No primeiro ambiente, os arquivos gerados pelos instrumentos de medição são inspecionados e, na inexistência de irregularidades, são elaborados os perfis dos consumidores através de composição estatística dos elementos mensurados.

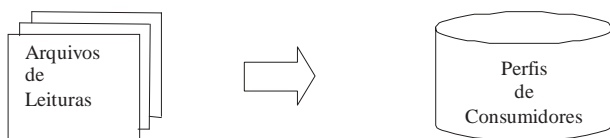


FIGURA 2 - Composição de perfis

No segundo ambiente são acrescentadas as informações das barras e dos ramos do alimentador a ser estudado. O produto gerado no segundo ambiente é um arquivo com todas as características do alimentador.

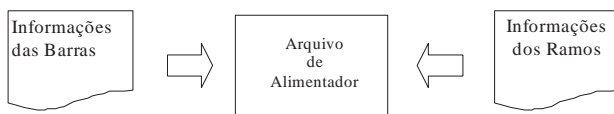


FIGURA 3 - Composição estrutural de alimentadores.

No terceiro ambiente, o arquivo de dados do alimentador é submetido a um processamento de cálculo das perdas, violações de tensões nas barras e outros estudos de interesse, através da rotina de fluxo de carga, e gerado relatórios, gráficos, totalizadores e outros instrumentos de análise dos valores apurados.

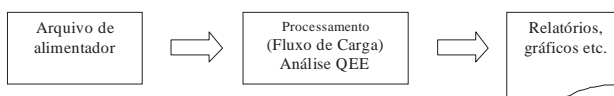


FIGURA 4 - Determinação e análise das Perdas

V. ANÁLISE DA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

Frente aos avanços da normalização dos limites de variação das tensões a serem observadas pelas concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica, através da resolução ANEEL 505, de 26 de novembro de 2001, torna-se imprescindível o conhecimento das tensões a serem fornecidas pelos alimentadores estudados, bem como o custo do ressarcimento das tarifas quando não atendidas as prescrições de fornecimento.

Sabendo-se que os níveis de tensão de fornecimento são afetados pelas solicitações de potência de todos os demais consumidores que são supridos pelo mesmo alimentador, e tais variações estão registradas nos perfis de cada consumidor analisado, o sistema torna possível o conhecimento dos níveis de tensões a serem fornecidos frente ao perfil dos consumidores instalados no alimentador em questão. Estes valores podem ser enquadrados conforme as definições apontadas pela ANEEL, apresentadas na tabela 1.

TABELA 1
CLASSIFICAÇÃO DA TENSÃO DE ATENDIMENTO, SEGUNDO A ANEEL

Classificação da Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de variação da Tensão de Leitura (TL) em relação à Tensão Contratada (TC)
Adequada	$0,95 TC \leq TL \leq 1,05 TC$
Precária	$0,93 TC \leq TL < 0,95 TC$
Crítica	$TL < 0,93 TC$ ou $TL > 1,05 TC$

A investigação da qualidade da energia elétrica é executada em dois momentos distintos: após o processamento do fluxo de carga de cada intervalo de medição e ao final do processamento do alimentador.

Após o processamento do fluxo de carga de cada intervalo de medição, tem-se o valor de tensão das barras de todo o sistema. Estes valores são submetidos à inspeção de conformidade aos limites prescritos pela ANEEL. Estando a tensão de atendimento em qualquer barra do sistema classificada em níveis precário ou crítico, é feito o registro da anomalia em um arquivo da qualidade da energia elétrica para posterior exame, o que acontece no segundo momento, sendo que o sistema retoma ao processamento do fluxo de carga do intervalo seguinte.

Concluído o processamento de todos os intervalos de medição, tem-se o arquivo da qualidade da energia elétrica, com todos os registros das faltas à nível de tensão de atendimento ocorridas no alimentador estudado. É oferecida ao usuário a opção de análise dos registros classificados por barra ou ainda o processamento para avaliação dos custos de ressarcimento conforme determina a ANEEL.

Para a inspeção das barras são tabulados os tipos de clientes, quantidade, tensão de atendimento etc., de forma a permitir uma análise rápida da situação geral do alimentador.

Observa-se que o estudo proposto trabalha com o mesmo período de observação apontado pela ANEEL, 168 (cento e sessenta e oito) horas, porém com intervalos de medições menores, 5 minutos, o que garante maior precisão nos resultados esperados.

Além dos indicadores individuais da qualidade da energia elétrica, o sistema recorre aos dados dos perfis dos consumidores que foram afetados pelo atendimento em tensão de fornecimento em níveis precários e/ou críticos. Estes dados possibilitam a avaliação do custo médio do valor líquido das faturas de energia elétrica.

Portanto, no ato da composição dos perfis, são ainda apurados os valores de consumo e demanda trimestral em todos os postos horários aplicáveis em função da classificação tarifária em que o perfil se enquadra. Tal levantamento pode ser simplificado através da adoção de valores médios das tarifas aplicadas em diferentes postos horários (ponta, fora de ponta e horário reservado) e dos períodos de consumo (seco ou úmido).

A avaliação dos custos de ressarcimento é então determinada para cada consumidor presente nas barras que apresentaram níveis de tensão precários ou críticos. A restituição do valor pelo serviço inadequado é calculada de acordo com as recomendações da ANEEL.

Finalmente com a totalização dos valores de restituição aplicáveis aos consumidores do alimentador em estudo torna-se possível a emissão de relatórios e gráficos que apontam de maneira clara e rápida o quanto o alimentador atende os requisitos da qualidade da energia elétrica, bem como os custos passíveis de restituição devido ao serviço inadequado.

VI. CONCLUSÕES

Os alimentadores são os detentores das condições de qualidade da energia elétrica de um sistema de distribuição. O suprimento de energia, em níveis de qualidade que atenda, não só as prescrições legais, mas também as necessidades dos consumidores, só se tornará possível através do pleno conhecimento das particularidades a que ele está submetido.

A metodologia desenvolvida aponta novas técnicas de análise que permite o conhecimento integral do sistema ainda que sujeito às variações naturais de carga apresentada por cada tipo de consumidor e permite o total conhecimento dos valores a serem considerados nos cálculos de perdas.

VII. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a equipe da Divisão de Utilização e Qualidade da CELG, em especial ao Eng. R. Nielson, pela extraordinária contribuição durante as medições de consumo de energia elétrica e ao acadêmico S. F. S. Santos pelo desenvolvimento dos programas de leituras.

VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. A. Cipoli, "Engenharia de Distribuição", Ed. Qualitymark.
- [2] W. D. Stevenson, "Elementos de Análise de Sistemas de Potência", Ed. McGraw Hill.
- [3] Eletrobrás, "Proteção de Sistemas Aéreos de Distribuição", Coleção Distribuição de Energia Elétrica, Vol. 2, Ed. Campus.
- [4] Agência Nacional de Energia Elétrica, Resolução número 505, de 26 de Novembro de 2001.
- [5] A. Monticelli, "Fluxo de Carga em Redes de Energia Elétrica", Ed. Edgard Blücher.
- [6] F. C. Pereira, J. C. Oliveira and P. F. Ribeiro, "An Analysis of Costs Related to the Loss of Power Quality", IEEE Transactions on PWRs, 1998, pag. 777 – 782.
- [7] M. Aredes, "Active Power Line Conditioners", Dissertação de Doutorado, Março de 1996, Berlin, Alemanha.
- [8] Departamento de Sistemas e Controle de Energia, Unicamp, "Condicionamento de Energia Elétrica e Dispositivos FACTS", apostila IT 333, Agosto de 1998.
- [9] R. C. Dugan, "Electrical Power Systems Quality", Ed. McGraw-Hill