

## **Análise da Influência do Fator de Potência no Cálculo de Perdas Técnicas em Redes de Distribuição**

**João V. dos R. Alves , Carlos E. M. Rodrigues, Thiago M. Soares, Maria E. de L. Tostes, Ubiratan H. Bezerra, Elaine C. S. da Silva, Carlos J. da S. Moura, Michel F. Rendeiro**

*Universidade Federal do Pará  
Belém, PA, BRA, 66075-110*

*E-mail: jv.alves1104@gmail.com, carloseduardo.pa@hotmail.com, thgmtsrs@gmail.com, tostes@ufpa.br, bira@ufpa.br*

*Equatorial Energia Pará  
Belém, PA, BRA, 66823-010*

*E-mail: elaine.santos@equatorialenergia.com.br, carlos.moura@equatorialenergia.com.br,  
michel.rendeiro@equatorialenergia.com.br*

---

**Abstract:** This work aims to analyze the influence of power factor in load flow studies with the objective of calculating active and reactive technical losses, using a simplified test system and a real distribution system, belonging to the Equatorial Energia utility in the area of Belém city, state of Pará. The importance of using a power factor that best represents the equivalent load characteristic in the utility's area and an algorithm that sets the loads power factors according to the measurement data in distribution feeder substation and transformers are discussed. The results showed the differences in the calculation of technical losses when using the regulatory power factor and the power factor obtained from measurements.

**Resumo:** Este trabalho tem por objetivo analisar a influência da definição do fator de potência em estudos de fluxo de carga com o objetivo de realizar o cálculo de perdas técnicas ativas e reativas, utilizando um sistema teste simplificado e um sistema de distribuição real, pertencente à área de concessão da distribuidora do estado do Pará. Será apresentada a importância de se utilizar um fator de potência que melhor represente a característica da carga da área de concessão e um algoritmo que configure o fator de potência das cargas de acordo com os dados de medição em alimentadores ou transformadores de distribuição. Os resultados mostraram as diferenças no cálculo de perdas técnicas quando da utilização do fator de potência regulatório e o fator de potência real verificado nas cargas.

**Keywords:** Distribution System, Load Flow, Technical Losses, Power Factor.

**Palavras-chaves:** Redes de distribuição, Fluxo de Carga, Perdas Técnicas, Fator de Potência.

---

### **1. INTRODUÇÃO**

As perdas de energia elétrica se constituem em uma questão fundamental no setor de distribuição, sendo uma consequência inevitável do transporte de energia dos pontos de suprimento até os consumidores. Neste cenário, é fundamental que se possa monitorar, bem como estudar as principais causas das perdas dentro de um sistema de distribuição, de modo que se possa reduzir esta parcela de energia que não se traduz em retorno financeiro para a distribuidora (Sallam & Malik, 2011).

Entretanto, os níveis de perdas observados dependem de diversos fatores técnicos e operacionais, tais como a configuração da rede, característica da carga, as subestações em serviço e os parâmetros de qualidade da energia requeridos. (Sallam & Malik, 2011).

As perdas que estão relacionadas aos fenômenos físicos presentes no transporte, medição e transformação de energia

são denominadas de perdas técnicas e compreendem dois tipos: as perdas técnicas variáveis, proporcionais ao quadrado da corrente, ou seja, essencialmente dependem do carregamento da rede e normalmente se constituem como perdas no cobre de linhas e transformadores; e as perdas técnicas fixas, que não variam com o carregamento da rede e ocorrem principalmente nos núcleos dos transformadores (Sallam & Malik, 2011).

No cálculo de perdas técnicas por meio de estudos de fluxo de carga é imprescindível a modelagem adequada das cargas presentes neste sistema. Desse modo, entre os parâmetros necessários para a caracterização da carga encontra-se o fator de potência. O fator de potência se trata de uma grandeza adimensional e possui diferentes faixas de valores para os diversos tipos de consumidores presentes na rede de distribuição de energia (Alexander & Sadiku, 2013).

A determinação do fator de potência das cargas implica diretamente na demanda de potência reativa a ser suprida pela fonte ou pelos elementos de compensação reativa distribuídos

pela rede e, desta forma, impacta no fluxo de corrente e, consequentemente, na magnitude das perdas técnicas observadas. Desta forma, há uma relação sensível entre o fator de potência da rede e a ocorrência de perdas técnicas (Au et al. 2008; Wu & Ni, 2016).

Entretanto, os bancos de dados comerciais das distribuidoras de energia, usualmente, armazenam apenas informações relativas a consumo de potência ativa para fins de faturamento, para os consumidores de baixa tensão, pois estes, em geral, ainda não seguem legislações mais rígidas quanto ao consumo de potência reativa da unidade consumidora (Jesus et al. 2008). Portanto, a consideração do fator de potência no cálculo de perdas de certa forma implica em um certo nível de aproximação, dado que seriam necessários medições e levantamentos das cargas em todos os pontos de carga do alimentador, considerando os diferentes instantes do dia.

Visando contornar esse problema, vários trabalhos já foram realizados com o intuito de se chegar a um fator de potência a ser empregado no cálculo do fluxo de carga que melhor represente a realidade da rede, com um nível de aproximação que retorne resultados precisos no processo apuração das perdas. A abordagem mais tradicional consiste na consideração de um fator de potência aproximado que reflita as características dos equipamentos em operação nas unidades consumidoras da rede em análise (Moura & Souza, 2008) ou a utilização de fatores de potência considerados típicos para consumidores em baixa tensão (Almeida et al., 2003; Grainger et al., 1989; Fan et al., 2014; Dashtaki & Haghifam, 2013).

Com base na literatura que trata sobre o tema, este artigo objetiva estudar a influência do fator de potência sobre o cálculo das perdas técnicas em sistemas de distribuição. Para tanto, foi desenvolvido um algoritmo que tem como finalidade ajustar o fator de potência das cargas presentes num sistema de distribuição de tal forma que o fator de potência calculado por meio do fluxo de carga na barra principal, que seria o início do alimentador, esteja condizente com o valor medido do fator de potência no mesmo ponto. Em resumo, a proposta apresentada trata de um processo iterativo com a finalidade de igualar o fator de potência calculado ao medido, no início do alimentador, por meio do ajuste do fator de potência das cargas, com a finalidade de ganho de precisão na estimativa de perdas técnicas no sistema.

## 2. A INFLUÊNCIA DO FATOR DE POTÊNCIA SOBRE O CÁLCULO DE PERDAS TÉCNICAS

Em redes de distribuição, o fator de potência para as cargas de baixa e média tensão apresentam, geralmente, valores discrepantes entre si. Ao passo que as cargas de média tensão apresentam valores mais próximos do valor regulatório (0,92), as cargas de baixa tensão com carregamento residencial apresentam variações entre 0,87 e 0,98 (Granados et al. 2018). Em contrapartida, a Aneel estipula um valor de referência para o fator de potência de 0,92 para o cálculo das perdas técnicas regulatórias, tanto para as cargas de baixa e média tensão, o que acarreta na limitação da precisão do cálculo (Antonelli et al. 2014; Costa et al. 2019).

A definição do fator de potência das cargas e o cálculo das perdas técnicas apresentam uma relação sensível. Como foi mostrado em (Anthony et al. 2008), à medida que se aumenta o fator de potência de um sistema se observa que há uma redução no valor das perdas técnicas desta mesma rede. Portanto, nota-se uma relação inversamente proporcional entre estes parâmetros.

Com o objetivo de estudar essa relação, foi desenvolvido um sistema simplificado no software *OpenDSS*, composto por uma fonte, um transformador, uma linha e uma carga. De acordo com (Saadat et al. 2004), para uma linha de transmissão no modelo pi, a impedância da linha para a componente série e a admitância shunt são dadas por (1) e (2):

$$Z_{km} = R_{km} + jX_{km} \quad (1)$$

Em que:

$Z_{km}$  - Impedância da linha;

$R_{km}$  - Resistência série;

$X_{km}$  - Reatância série;

$$Y_{km}^{Sh} = G + jB \quad (2)$$

Em que:

$Y_{km}^{Sh}$  - Admitância shunt;

$G$  - Condutância shunt;

$B$  - Susceptância shunt;

Neste cenário, em que a impedância e admitância da linha se mantêm constantes, com o aumento do fator de potência da carga, espera-se que ocorra uma redução no valor do módulo da corrente do sistema, de tal forma que as perdas na linha sejam reduzidas, consequentemente reduzindo as perdas técnicas do sistema.

No sistema simplificado da Fig. 1, implementado no *OpenDSS*, a fonte se constitui em uma fonte trifásica com tensão de base de 13,8 kV. O transformador possui uma relação de transformação de 13,8kV/220V e, para a modelagem do mesmo, foram determinados os parâmetros:  $x_{hl} = 5$  (reatância),  $\%loadloss=0.15$  (perda com carga),  $\%noloadloss=0.015$  (perda a vazio) e  $\%imag=2$  (corrente de magnetização). Para a linha, os parâmetros de resistência de sequência positiva, reatância de sequência positiva, resistência de sequência zero, reatância de sequência zero, capacitância de sequência positiva e capacitância de sequência zero foram respectivamente:  $R1=0.604$  ( $\Omega/km$ ),  $X1=0.451$  ( $\Omega/km$ ),  $R0=1.22008$  ( $\Omega/km$ ),  $X0=2.23696$  ( $\Omega/km$ ),  $C1=11.66$  (nF/km), e  $C0=3.88$  (nF/km). A carga selecionada foi uma carga trifásica, com conexão em estrela, tensão de 220V e potência ativa de 10kW.

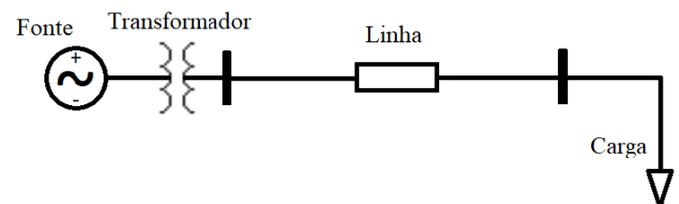


Fig. 1. Circuito simplificado implementado no *OpenDSS*.

Nas simulações do sistema simplificado, o fator de potência da carga foi alterado na faixa de valores entre de 0,8 até 0,94, indutivo, e em cada simulação se obteve o valor das perdas, de potência ativa e reativa, de modo a verificar a variação dos seus valores à medida que o fator de potência era alterado dentro do intervalo especificado. Essa faixa de valores foi escolhida devido ao fato de que, usualmente, o fator de potência das cargas em baixa tensão estar localizado entre esses valores (Almeida et al., 2003).

Os resultados obtidos por meio da simulação deste sistema simplificado são ilustrados pela Fig. 2. Observa-se que a perda técnica do sistema é reduzida conforme há o aumento do valor do fator de potência, mantendo-se uma proporcionalidade entre suas parcelas ativa e reativa.

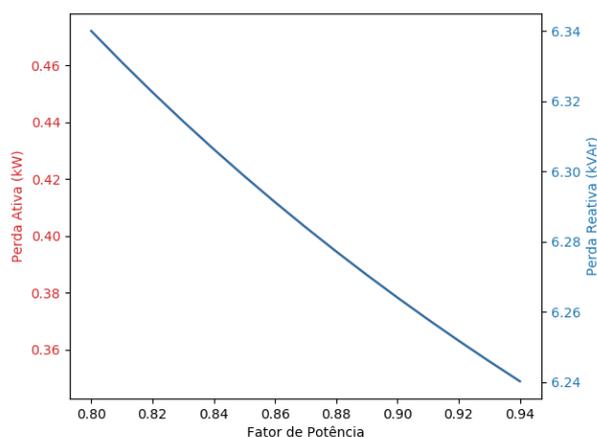


Fig. 2. Perdas técnicas ativas (kW) e reativas (kVAR) do sistema em função do fator de potência.

### 3. METODOLOGIA

Nos sistemas de distribuição reais, as concessionárias, usualmente, não realizam medição de fator de potência dos consumidores de baixa tensão, entretanto a mesma grandeza é medida nas saídas dos alimentadores, nos consumidores em média tensão e nos transformadores de distribuição, quando estes últimos fazem parte de um programa de medição fiscal. Desse modo, pode-se fazer uma estimativa dos fatores de potência das cargas em baixa tensão em função do fator de potência medido no alimentador.

Nesse sentido, foi implementado um algoritmo que tem como objetivo estimar o fator de potência dos consumidores de baixa tensão presentes no sistema, a partir do valor do fator de potência medido no início do alimentador, valor este que é medido pela concessionária. A Fig. 3 apresenta um fluxograma que objetiva explicar o funcionamento do algoritmo.

A primeira etapa do algoritmo consiste no carregamento da rede e execução do fluxo de carga para o cálculo do fator de potência no início do alimentador. Nessa etapa, todas as cargas de baixa tensão foram configuradas com o fator de potência igual a 0,92 por se tratar do mesmo fator utilizado para as cargas em média tensão. De posse do valor do fator de potência calculado no início do alimentador, compara-se com o fator de potência fornecido pela medição. A diferença entre esses dois valores é calculada e comparada com uma tolerância mínima

estabelecida. Se a diferença calculada for menor que a tolerância estipulada, o novo fator de potência calculado pelo algoritmo será então atribuído às cargas para posterior cálculo das perdas. Caso contrário, o novo fator de potência atribuído às cargas será igual ao fator de potência antigo, subtraído da diferença entre os fatores de potência calculado e medido no início do alimentador, sendo executado novamente o fluxo de carga, repetindo-se o processo até que a diferença entre os fatores de potência calculado e medido seja menor que a tolerância estipulada.

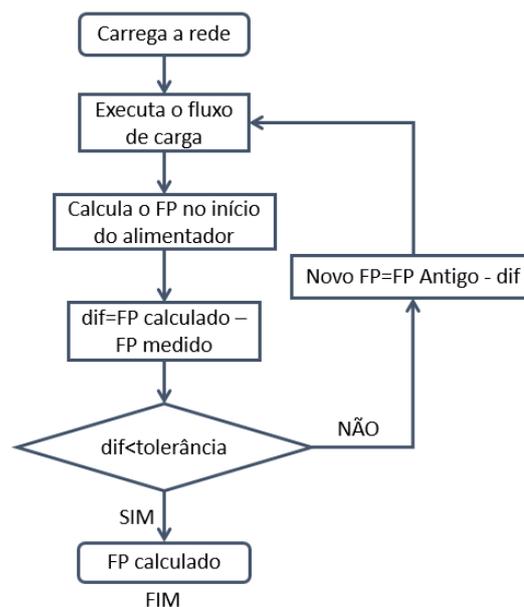


Fig. 3. Fluxograma do algoritmo de ajuste de fator de potência das cargas.

Portanto, o fator de potência definido no estudo de fluxo de carga, por meio do algoritmo apresentado, será aquele que leva em consideração o aspecto operativo da carga, bem como a interação entre as demais reatâncias da rede, presentes nas linhas e transformadores, além da injeção/absorção de potência reativa por meio de elementos de compensação, tais como capacitores e reatores, modelados no *software* de simulação.

Vale ressaltar que, devido à determinação do fator de potência para as cargas em média tensão estar compreendido entre 0,92 e 1,00 indutivo ou entre 0,92 e 1,00 capacitivo (ANEEL, 2018), sob pena de aplicação de multa ao consumidor por excesso de fluxo de energia reativa, tais consumidores usualmente mantém o seu fator de potência próximo a 0,92 por meio da adoção de técnicas tais como o uso de bancos de capacitores. Devido a isso, foi utilizado um fator de potência fixo de 0,92 para as cargas em média tensão.

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O algoritmo de ajuste do fator de potência das cargas foi implementado utilizando o alimentador PD-05, da área de concessão da Equatorial Energia Pará, no município de Belém, apresentado na Fig. 4. O alimentador em questão se constitui nas redes de distribuição primária (13,8 kV), secundária (220 / 127 V) e nos ramais de ligação (220 / 127 V). O alimentador

possui, conectados em sua rede primária, 16 consumidores em média tensão e dois bancos de capacitores, de 600 e 300 kVAR e 98 transformadores de distribuição. O alimentador ainda possui um total 6336 consumidores em baixa tensão.

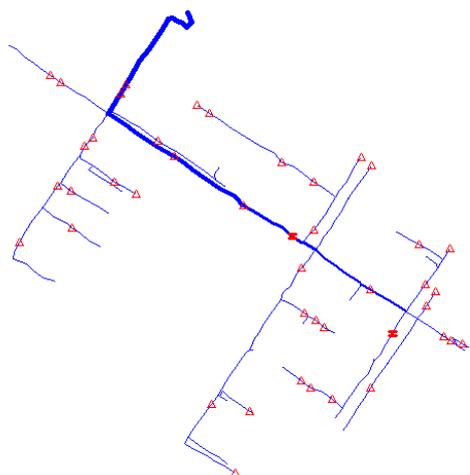


Fig. 4. Alimentador PD-05 pertencente à área de concessão da Equatorial Pará no município de Belém (transformadores de distribuição assinalados em vermelho).

Com relação à modelagem das cargas, o modelo adotado tanto para as cargas de média quanto de baixa tensão foi o modelo de potência regulatório estabelecido no Módulo 7 do PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional) que determina a parcela de potência ativa composta por 50% potência constante e 50% impedância constante e a parcela de potência reativa composta por 100% impedância constante.

Partindo da informação de que, para o período do mês de janeiro de 2018 o fator de potência medido no início do alimentador foi igual 0,97 indutivo, foi configurado um fator de potência inicial de 0,92 também para as cargas de baixa tensão, assumindo, neste caso, a função de um chute inicial no processo iterativo. Realizando o fluxo de carga no OpenDSS no modo *normal*, que executa o cálculo para uma única condição de operação, de carregamento médio da rede, foi obtido um fator de potência igual a 0,9974 indutivo no início do alimentador, distante do fator de potência medido no mesmo período (0,97). As perdas técnicas ativas e reativas calculadas foram iguais a 47,1 kW e 34,3 kVAR, respectivamente.

Portanto, devido à inconsistência entre o fator de potência medido e o calculado pelo fluxo de carga, o sistema foi submetido ao algoritmo da Fig. 3, implementado por meio da interface COM (*Component Object Model*) que realiza a interface com o OpenDSS. Após a execução do algoritmo foi definido um fator de potência igual a 0,8448 indutivo para todas as cargas de baixa tensão. Com esta configuração do fator de potência das cargas, o fator de potência calculado no início do alimentador foi igual a 0,97, portanto igual a fator de potência medido no mesmo período. O impacto nas perdas ativas e reativas foi significativo em relação ao caso anterior, apresentado valores iguais 54,4 kW e 40,2 kVar, respectivamente.

No cálculo das perdas em sistemas de distribuição, tanto para fins regulatórios quanto para fins de apuração das perdas reais, são realizados estudos de fluxo de cargas para os dias úteis, sábados e domingos com a posterior integralização dos resultados a fim de se apurar as perdas mensais de energia.

Ainda com relação ao cálculo real de perdas técnicas, são aplicadas curvas de carga com a finalidade de melhor reproduzir o consumo diário de uma determinada unidade consumidora, de acordo com os hábitos de utilização dos equipamentos nela instalados. No Brasil, é prática comum as concessionárias de energia realizarem extensas campanhas de medição para caracterização da carga em sua área de concessão no âmbito do processo de revisão tarifária (Méffe, 2007). Tais campanhas de medição abrangem todas as classes de consumidores conforme o seu grupo tarifário e nível de tensão, compreendendo curvas características de consumo para um dia útil, um sábado e um domingo para o mesmo tipo de unidade consumidora.

Considerando a variedade de unidades consumidoras conectadas ao alimentador em estudo, a Fig. 5 apresenta exemplos de curvas de carga residenciais, comerciais e industriais, para um dia útil, sábado e domingo, obtidas através de campanhas de medição e atribuídas às respectivas unidades consumidoras.

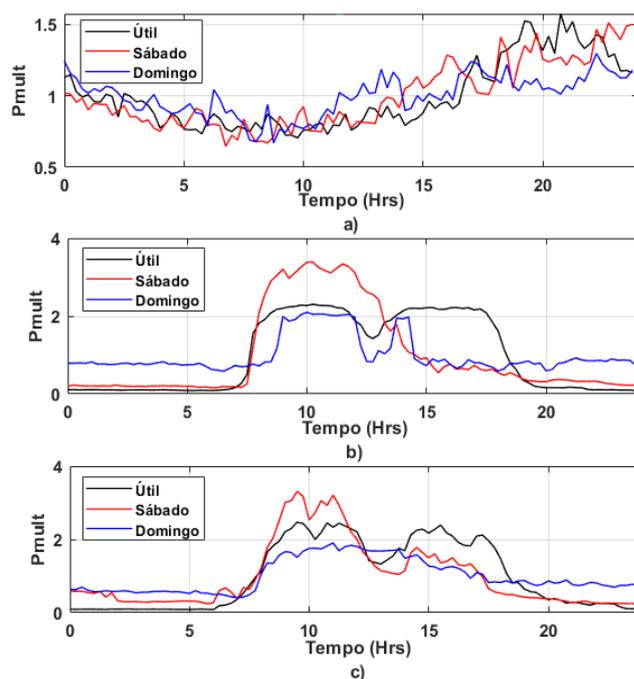


Fig. 5. Curvas de carga típicas para um consumidor a) residencial, b) comercial e c) industrial para um dia útil (preto), um sábado (vermelho) e um domingo (azul).

Portanto, visando o ajuste do fator de potência das cargas com o objetivo de realizar o cálculo de perdas conforme o procedimento para a apuração da perda real do sistema, tomase o valor do fator de potência ajustado para a condição de carga média, cujo valor encontrado foi igual 0,8448. O valor foi então aplicado a todas as cargas de baixa tensão conectadas no alimentador, para o cálculo das perdas para o dia útil, sábado e domingo.

Apesar do fator de potência, definido a partir da condição de carga média ser o mesmo valor aplicado a todos os instantes da curva de carga dos três dias da semana, a simples alteração do carregamento da rede, conforme expresso na Fig. 6, resulta na alteração do fator de potência calculado no início do alimentador (Fig. 7) devido à interação entre todos os elementos constituintes da rede.

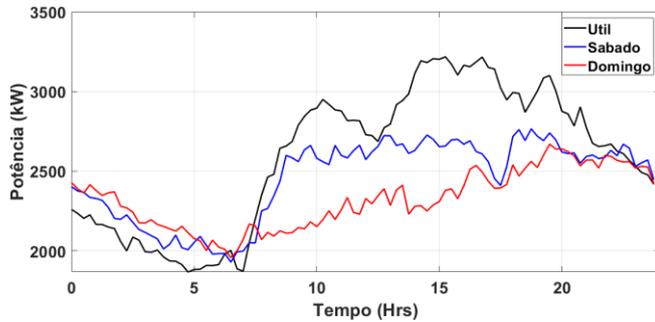


Fig. 6. Potência ativa injetada no início do alimentador conforme o horário de um dia útil (preto), sábado (azul) e domingo (vermelho).

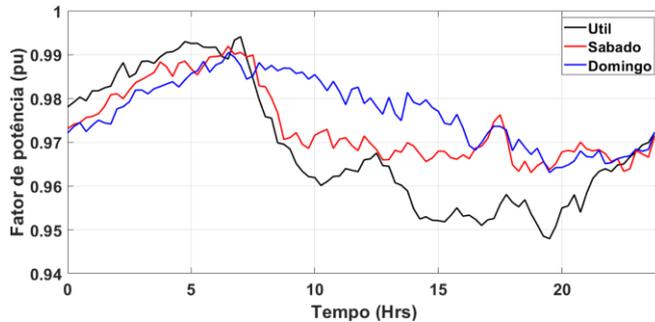


Fig. 7. Variação fator de potência calculado no início do alimentador conforme o horário de um dia útil (preto), sábado (azul) e domingo (vermelho).

Apesar de o fator de potência instantâneo calculado no alimentador apresentar variações significativas conforme o horário do dia e o dia da semana, o cálculo do fator de potência médio mensal do alimentador fornece o parâmetro necessário para a comprovação da eficácia da metodologia. Para tal fim, toma-se as curvas de potência ativa (Fig. 6) e reativa (Fig. 8) injetada no alimentador para o cálculo da energia mensal injetada do alimentador, nas parcelas de potência ativa e reativa.

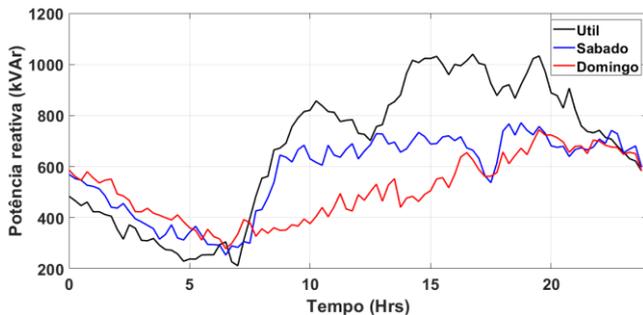


Fig. 8. Potência reativa injetada no início do alimentador conforme o horário de um dia útil (preto), sábado (azul) e domingo (vermelho).

Portanto, a energia mensal ativa injetada no alimentador pode ser obtida:

$$E_{kWhr_{mes}} = E_{kWhr_u} * n_u + E_{kWhr_s} * n_s + E_{kWhr_d} * n_d \quad (3)$$

Em que:

$E_{kWhr_{mes}}$  – Energia ativa mensal injetada no alimentador;

$E_{kWhr_{u,s,d}}$  – Energia ativa injetada em um dia útil, um sábado e um domingo;

$n_{u,s,d}$  – Quantidade de dias úteis, sábados e domingos do mês.

A energia reativa mensal no mesmo ponto pode ser obtida por procedimento semelhante. Portanto, fazendo-se a relação entre a energia ativa mensal injetada e a energia aparente mensal injetada, obtém-se o valor do fator de potência médio calculado no início do alimentador, que apresentou o valor de 0,97, igual ao valor obtido por meio das medições fornecidas pela concessionária e usado para determinar o valor do fator de potência a ser utilizado para as cargas de baixa tensão por meio do algoritmo da Fig. 3.

Portanto, a utilização do fator de potência de 0,8448 para as cargas de baixa tensão fornece uma precisão mais adequada para o cálculo das perdas técnicas totais na rede em questão, apresentadas na Fig. 9.

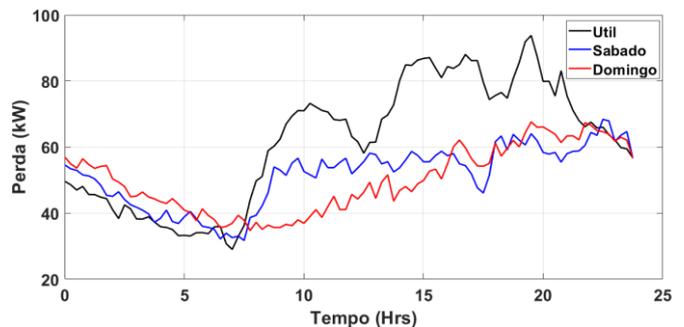


Fig. 9. Perda de potência ativa para um dia útil (preto), sábado (azul) e domingo (vermelho).

Em termos de energia, a perda mensal técnica mensal, com a aplicação do algoritmo, totalizou 43,77 MWh. No outro cenário, em que não foi executado o algoritmo de correção, foi calculada uma perda técnica mensal igual 37,92 MWh.

## 5. CONCLUSÕES

A definição do fator de potência das cargas impacta diretamente na apuração das perdas técnicas em uma rede elétrica. Entretanto, há certa incerteza na definição do fator de potência a ser utilizado em estudos de fluxo de carga com o objetivo de se apurar as perdas técnicas em redes de distribuição devido ao fato de ser realizada a medição apenas da energia ativa absorvida pela unidade consumidora para fins de faturamento. Partindo dessa premissa, foi elaborado um algoritmo de determinação do fator de potência das cargas de baixa tensão a partir da medição do fator de potência no início do alimentador.

A execução do algoritmo forneceu um fator de potência a ser utilizado para as cargas de baixa tensão igual a 0,8448, que implicou no aumento significativo das perdas ativas e reativas, quando comparado à utilização do fator de potência igual a 0,92. Visando a realização do cálculo considerando as curvas de carga das unidades consumidoras, foi utilizado o mesmo fator de potência para o cálculo de um dia útil, um sábado e um domingo. Os resultados mostraram que o fator de potência calculado no início do alimentador variou sensivelmente com o carregamento da rede, porém o valor médio mensal apresentou o mesmo valor do fator de potência medido, a partir do qual se definiu o fator de potência a ser usado nas cargas de baixa tensão. Com esse procedimento, pode-se obter uma maior precisão no cálculo das perdas técnicas em uma rede de distribuição a partir do alinhamento entre dados utilizados no fluxo de carga com dados reais de medição.

Com relação à ausência de elementos de compensação reativa, os bancos de capacitores no caso empregado, não é necessária a adaptação do algoritmo para a consideração desse cenário, uma vez que o algoritmo se vale da informação de potência ativa e reativa no início do alimentador para atualização do fator de potência das cargas. A presença ou ausência dos capacitores somente iria alterar o valor do fator de potência selecionado após a execução do algoritmo.

Com relação a limitações do método, podem ser citadas a necessidade de medição de energia ativa e reativa injetada no início do alimentador e a consideração de que, no período analisado, não houve a reconfiguração do alimentador para uma nova topologia.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores do artigo agradecem as empresas Equatorial Energia Pará e Equatorial Energia Maranhão, do grupo Equatorial Energia, pela disponibilização dos dados do alimentador utilizado no trabalho e pelo suporte financeiro via projeto de P&D ANEEL em desenvolvimento.

#### REFERÊNCIAS

- Alexander and Sadiku. (2013). *Fundamentos de Circuitos Elétricos*. Ed. 5, Porto Alegre.
- Almeida, M. A. D., Silveira D. B. F e Júnior, M. F. M. (2003) *Estimating Loads in distribution Feeders Using a State Estimation Algorithm with Additional Adjustment of Transformers Loading Factors*. International Symposium on Circuits and Systems, Bangkok, Thailand.
- Anthony, T. (2008). A Simplified Approach in Estimating Technical Losses in Distribution Network Based on Load Profile and Feeder Characteristics. IEEE International Conference on Power and Energy, p. 4.
- Antonelli, D. (2014). Uma Contribuição para o Cálculo Simplificado de Perdas Técnicas Regulatórias em Redes Otimizadas de Distribuição de Energia Elétrica. M. S. thesis, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brazil.
- Au, M. T., Anthony, T. M., Kamaruddin N., Verayiah R., Mustafa, S. A. S e Yusoff, M (2008). *A Simplified Approach in Estimating Technical Losses in Distribution Network Based on Load Profile and Feeder Characteristics*. 2th IEEE International Conference on Power and Energy, Johor Baharu, Malaysia.
- Costa, S. C. P., Rodrigues, C. E. M., Tostes, M. E. L., Bezerra, U. H., Filho, L. S. S. e Medeiros, V. G. (2019). Cálculo de Perdas Técnicas e Não-Técnicas em Redes de Distribuição: Uma Análise Comparativa entre as Metodologias da ANEEL e da Impedância Equivalente Operacional. XIII Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica, São Paulo, Brasil.
- Dashtaki, A. K. e Haghifam, M. R. (2013). *A New Loss Estimation Method in Limited Data Electric Distribution Networks*. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 28, No 4.
- Fan, Y., Jun, L., Wenrong, S. e Li, X. (2014). *Research on Theoretical Line Loss Calculation of Low-Voltage Power Distribution Area in Shanghai*. China International Conference on Electricity Distribution (CIED), Shenzhen, China.
- Grainger, J. J. e Kendrew, T. J. (1989). *Evaluation of Technical Losses on Electric Distribution Systems*. 10<sup>th</sup> International Conference on Electricity Distribution (CIRED), Brighton, United Kingdom.
- Granados, J. (2018). Modelagem de Carga em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica. Belo Horizonte, MG, p. 48-51.
- Moura, P. R. F., e Souza, B. A. (2008). *Proposta de Uma Metodologia Simplificada para Cálculo das Perdas Técnicas*. XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, Olinda, Pernambuco, Brasil.
- Saadat, H. (2004). *Power System Analysis*. Ed. Cengage Learning, Estados Unidos.
- Sallam, A. A., Malik, O. P. (2011). *Electric Distribution Systems*. Wiley & Sons). New Jersey, USA.
- Wu, A. e Ni, B. (2016). *Line Loss Analysis and Calculation of Electric Power Systems*. Wiley & Sons, China.
- Jesus, N. C., Oliveira, H. R. P. M., Pereira, P. V., Figueiredo, C. E. C., Pimenta, W., Méffe, A. (2008). *Determinação das Perdas no Sistema de Distribuição da AES Sul: Implementação e Aplicação da Metodologia de Cálculo de Perdas Técnicas por Segmentos*. XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, Olinda, Brasil.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (2018). *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica*, Revisão 10. Brasília, Brasil.
- Méffe, A. (2007). *Cálculo de Perdas Técnicas em Sistemas de Distribuição – Modelos Adequáveis às Características do do Sistema e à Disponibilidade de Informações*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Brasil.