

# Identificação das Cargas Lineares Críticas na Análise Harmônica de Sistemas Elétricos de Potência

Sergio Luis Varricchio, *Senior Member, IEEE*, Franklin Clement Véliz, Cristiano de Oliveira Costa, Ricardo Penido D. Ross, *Senior Member, IEEE*, José Roberto de Medeiros e Dalton O. C. Brasil

**Resumo** — Em estudos de comportamento harmônico, usualmente as cargas são modeladas por circuitos *RLC* série e/ou paralelo, construídos apenas com os valores de potência ativa e reativa de frequência fundamental. Esta modelagem simplificada pode levar a erros significativos nos resultados dos estudos. Utilizando-se dados de medição e/ou de levantamento de campo das composições das cargas, modelos mais realistas e detalhados podem ser obtidos. No entanto, este procedimento é praticamente inviável para todas as cargas do sistema. Neste trabalho é apresentada uma metodologia que, definida uma área de interesse onde os estudos devem ser realizados, determina quais são as barras que devem ter suas cargas modeladas em detalhe.

**Palavras-Chaves**— Cargas lineares, Modelagem de Cargas, Sistemas de Potência, Harmônicos, Resposta em Frequência.

## I. INTRODUÇÃO

O termo carga linear descreve uma classe de cargas que, se alimentadas por uma fonte de tensão senoidal de frequência  $f$ , produz somente corrente senoidal de mesma frequência que a fonte de alimentação [1]. As cargas lineares são uma componente importante das impedâncias harmônicas do sistema, pois influenciam de forma significativa seus módulos e podem afetar também as frequências de ressonância série e paralela [2]. O estabelecimento de modelos precisos baseados em análise teórica, tendo como informação apenas os valores de potência ativa e reativa de frequência fundamental das cargas, é uma tarefa difícil e, por este motivo, modelos mais simples como circuitos *RLC* série e paralelo são comumente adotados. Este procedimento pode levar a erros nos estudos de comportamento harmônico de sistemas elétricos de potência. Portanto, uma modelagem mais realista e detalhada das cargas do sistema é de grande importância. Julga-se que esta modelagem pode ser feita, por exemplo, por meio de medições ou de levantamento de campo de suas composições. No entanto, este procedimento é praticamente inviável para todas as cargas do sistema.

Neste trabalho é apresentado o desenvolvimento de uma

metodologia que determina, definido um conjunto de barras de interesse onde os estudos de comportamento harmônico devem ser realizados, quais as barras do sistema (barras críticas) que devem ter suas cargas modeladas em detalhes (cargas críticas).

A metodologia proposta é verificada por meio de exemplo considerando todo o Sistema Interligado Nacional (SIN) para o ano de 2005 com carregamento pesado.

## II. DADOS E FERRAMENTA COMPUTACIONAL UTILIZADOS

Os cálculos das impedâncias harmônicas foram realizados com o programa HarmZs [3] do CEPEL. Os dados utilizados encontram-se no arquivo DEZ06P.HZS (formato HarmZs), fornecido pelo ONS. Este arquivo de dados foi criado utilizando os arquivos de fluxo de potência DEZ06P.CAR (formato ANAREDE [4]) e de dados de máquinas BNT1P.DAT e BNT2.DAT (formato ANATEM [5]) da base de dados do ONS, bem como o arquivo de dados complementares de filtros harmônicos FILTRO2.DAT, preparado também pelo ONS.

## III. BARRAS DE INTERESSE

As barras de interesse consideradas neste trabalho são BAIXADA---345 (número 471) e CABREUVA-230 (número 590). O estudo de comportamento harmônico a ser realizado nestas barras consiste no cálculo de suas impedâncias próprias e de transferência. Na Fig. 1 está mostrada uma área do SIN que inclui estas barras de interesse.

## IV. EXEMPLO DA INFLUÊNCIA DA MODELAGEM COMUMENTE ADOTADA PARA AS CARGAS

Na Fig. 2 estão mostradas as curvas de resposta em frequência do módulo da impedância própria da barra 590 (CABREUVA-230 kV), considerando as cargas do SIN modeladas por circuito *RLC* série e paralelo. Como se pode observar, o módulo da impedância é bastante sensível ao modelo adotado para as cargas, conforme já citado na introdução deste trabalho.

---

Sergio Luis Varricchio, Franklin Clement Véliz, Cristiano de Oliveira Costa e Ricardo Penido D. Ross trabalham no CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (e-mails: [slv@cepel.br](mailto:slv@cepel.br), [franklin@cepel.br](mailto:franklin@cepel.br), [crisoc@cepel.br](mailto:crisoc@cepel.br) e [rpedr@cepel.br](mailto:rpedr@cepel.br)).

José Roberto de Medeiros e Dalton O. C. Brasil trabalham no ONS – Operador Nacional do Sistema (e-mails: [jrmedeiros@ons.org.br](mailto:jrmedeiros@ons.org.br) e [docb@ons.org.br](mailto:docb@ons.org.br)).

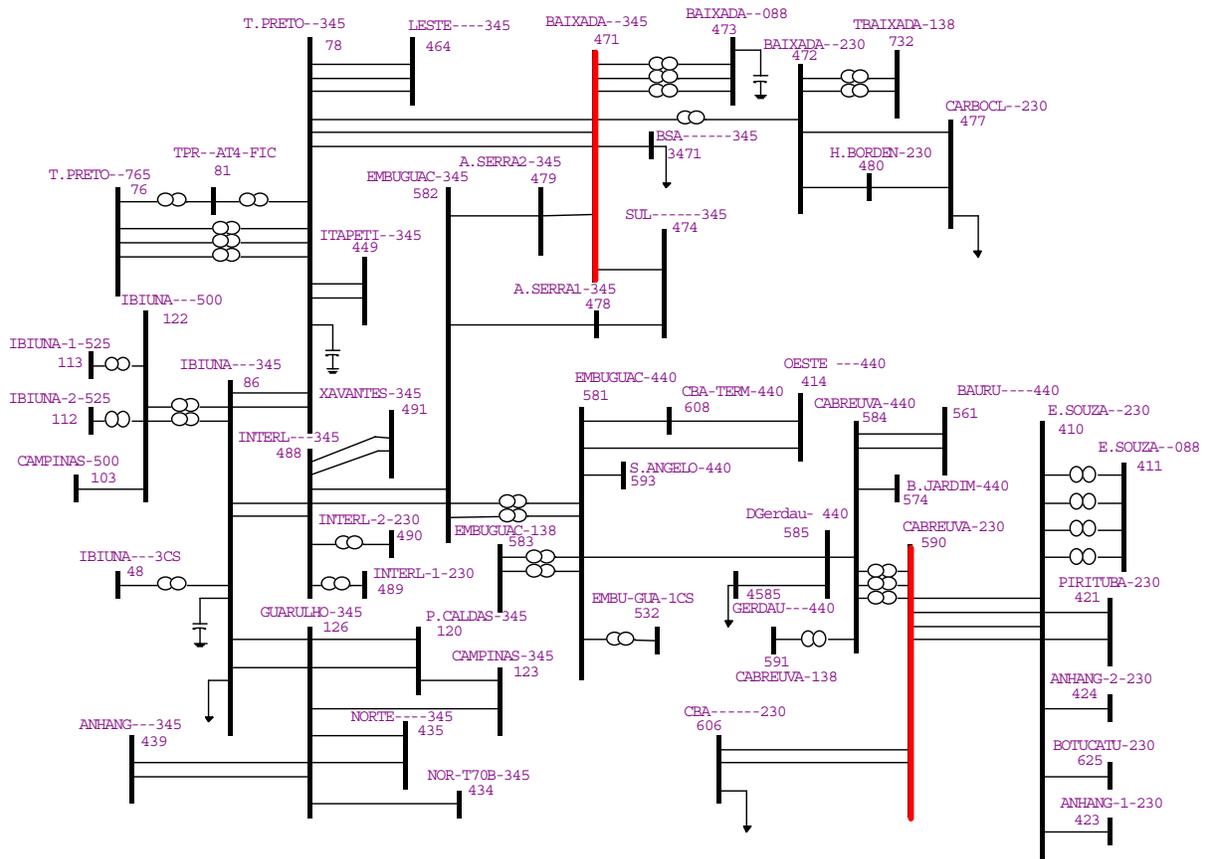


Fig. 1. Área do SIN incluindo as barras de interesse.

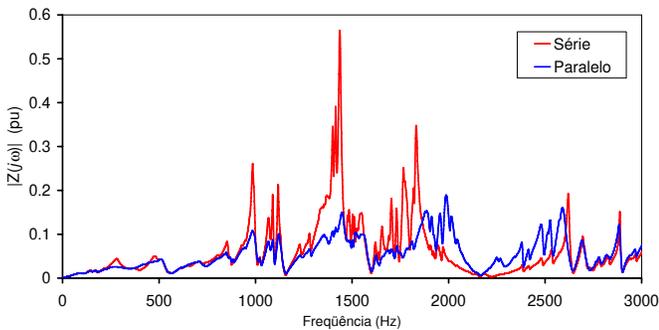


Fig. 2. Módulo da impedância própria da barra 590 (CABREUVA-230 kV), considerando as cargas do SIN modeladas por circuito  $RLC$  série (curva vermelha) e paralelo (curva azul).

## V. METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia proposta determina a influência de uma carga segundo o seguinte procedimento:

1. Todas as cargas do sistema são retiradas (modeladas por circuitos abertos) e a curva de resposta em frequência da impedância própria da barra de interesse é traçada.
2. A carga  $S_k$ , que se deseja determinar sua influência, é modelada por um curto-circuito (as demais cargas do sistema continuam a serem modeladas por circuitos abertos) e a curva de resposta em frequência da impedância própria da barra de interesse é traçada.

Quanto maiores as diferenças entre esta curva e a obtida no passo 1, maior a influência da carga  $S_k$ .

O principal motivo de se retirar todas as cargas do sistema é o de se isolar o efeito da carga  $S_k$ . Por outro lado, a modelagem por um curto-circuito da carga  $S_k$ , ao invés de se utilizar, por exemplo, um circuito  $RLC$  série (modelagem série) ou paralelo (modelagem paralela), é justificada a seguir.

Na Fig. 3 está mostrada a curva de resposta em frequência do módulo da impedância própria da barra de interesse de um sistema hipotético com a carga  $S_k$  desconectada do mesmo (curva azul). Também, nesta figura, estão mostradas as curvas de resposta em frequência do módulo da impedância da carga  $S_k$  para três situações distintas: comportamento real da carga supostamente conhecido (curva vermelha), modelagem série (curva preta) e modelagem paralela (curva verde). Observando estas curvas, verifica-se que os valores do módulo da impedância da carga nas modelagens série e paralela são muito maiores do que os valores do módulo da impedância própria da barra de interesse, ou seja, baseando-se nestas modelagens, se poderia concluir que a carga  $S_k$  teria uma baixa influência na impedância própria da barra de interesse em toda faixa de frequências considerada (nesta afirmação se considerou que o módulo da impedância que conecta a barra de interesse à barra  $k$ , onde a carga  $S_k$  está conectada, é muito menor do que a impedância própria da barra de interesse). Ou seja, as curvas de resposta em frequência da impedância própria da barra de interesse, traçadas com e sem a presença

da carga  $S_k$  seriam praticamente iguais. No entanto, como a impedância real da carga  $S_k$  apresenta ressonâncias série (como mostrada na curva vermelha), em frequências próximas da primeira ressonância o módulo da impedância da carga  $S_k$  é da mesma ordem de grandeza do módulo da impedância própria da barra de interesse, conforme pode ser melhor visualizado na ampliação mostrada na Fig. 4. Assim, pelo menos neste pequeno intervalo de frequências (que em uma situação real poderia ser bem mais extenso que neste caso hipotético) a carga  $S_k$  tem uma grande influência na resposta em frequência do módulo da impedância própria da barra de interesse. Além disto, nas frequências próximas à da primeira ressonância, o comportamento da carga  $S_k$  se aproxima mais ao de um curto-circuito do que das modelagens série ou paralela. Portanto, a modelagem da carga  $S_k$  por um curto-circuito, para toda a faixa de frequência de interesse, é o procedimento mais conservativo para a verificação da influência desta carga.

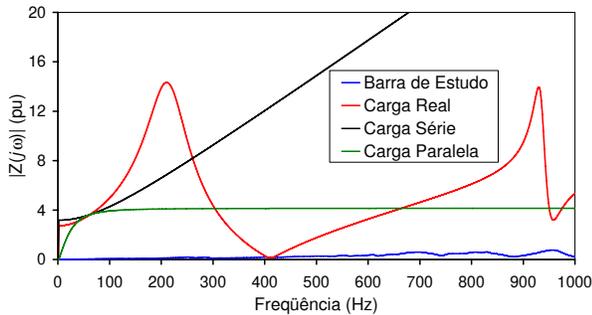


Fig. 3. Curvas de módulo da impedância do sistema e da carga.

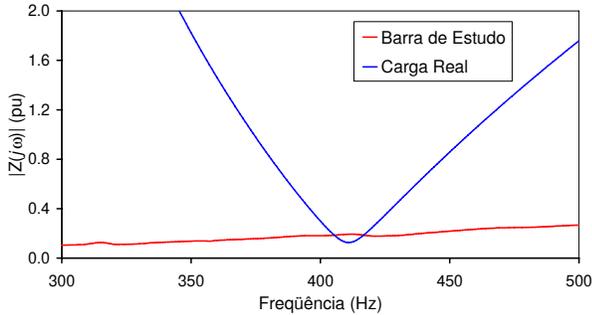


Fig. 4. Ampliação da visualização das curvas de módulo da impedância.

Uma propriedade importante que se verificou durante o desenvolvimento desta metodologia é descrita a seguir.

Supondo que um conjunto  $\Omega_k$  de cargas de grande influência (críticas) tenha sido determinado considerando a resposta em frequência da impedância própria  $z_{kk}$  (módulo e ângulo) da barra  $k$  e que um outro conjunto  $\Omega_j$  tenha sido determinado considerando a resposta em frequência da impedância própria  $z_{jj}$  (módulo e ângulo) da barra  $j$ , então o conjunto de cargas críticas para a resposta em frequência da impedância de transferência  $z_{kj}$  entre as barras  $k$  e  $j$  será o conjunto dado por  $\Omega_k \cup \Omega_j$ .

## VI. EXEMPLO DE DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE UMA CARGA (BARRA)

Na Fig. 5 estão mostradas duas curvas de resposta em frequência do módulo da impedância própria da barra de interesse 590 (CABREUVA-230 kV).

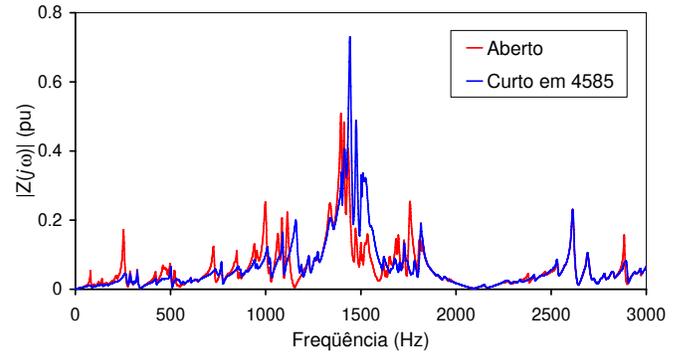


Fig. 5. Influência da carga da barra 4585 no módulo da impedância própria da barra 590.

A curva vermelha foi traçada considerando todas as cargas do SIN modelada por circuitos abertos (sistema descarregado). A outra curva foi traçada mantendo a modelagem de circuitos abertos para as cargas do SIN com exceção da carga conectada à barra 4585 que foi modelada por um curto-circuito. Esta é a carga (barra) a qual se deseja determinar a influência para a impedância própria da barra 590. Como as curvas apresentam diferenças significativas em diversos intervalos de frequência, conclui-se que esta é uma carga (barra) crítica para esta barra de interesse.

## VII. CONJUNTOS DE CARGAS CRÍTICAS PARA AS BARRAS DE INTERESSE

Aplicando a metodologia proposta, obtém-se os conjuntos de cargas críticas para as barras de interesse 590 e 471. Estes conjuntos são formados pelas cargas apresentadas na TABELA I e na Tabela II.

TABELA I  
CARGAS CRÍTICAS PARA A BARRA 590

Barra	P (MW)	Q (MVAr)	Barra	P (MW)	Q (MVAr)	Barra	P (MW)	Q (MVAr)
606	154.0	65.6	3804	12.4	1.8	3834	20.5	7.1
607	209.0	53.7	3805	7.7	1.8	3850	28.6	1.9
3411	484.3	134.2	3807	3.3	0.3	3130	33.4	9.8
3422	468.2	153.1	3810	23.8	2.2	3131	11.1	4.5
3428	136.9	17.6	3812	26.3	2.3	3135	22.3	6.4
3429	124.2	50.8	3813	7.8	0.1	3136	13.0	4.6
3493	841.7	265.6	4585	16.0	5.3	3137	38.6	9.7
3494	113.7	54.9	3819	13.7	5.4	3818	17.8	1.5
3496	739.2	218.0	3823	15.0	13.0	3814	21.4	1.3
3415	620.3	88.4	3827	26.7	2.7	3815	35.5	15.3
3150	29.5	6.0	3832	9.9	1.3	3816	57.1	14.3
3456	310.1	18.5	3833	3.4	1.1	3817	12.4	1.6
3801	9.1	1.4	-	-	-	-	-	-

TABELA II  
CARGAS CRÍTICAS PARA A BARRA 471

Barra	P (MW)	Q (MVar)	Barra	P (MW)	Q (MVar)	Barra	P (MW)	Q (MVar)
400	0.5	0.0	3467	467.8	87.4	3851	39.4	4.4
401	0.5	0.0	3471	200.0	53.5	3852	28.1	1.8
477	106.0	21.5	3473	58.9	7.0	3853	46.9	13.9
606	154.0	65.6	3474	48.0	15.8	3854	51.5	8.2
607	209.0	53.7	3475	464.5	92.6	3855	36.9	7.0
3045	28.7	9.4	3476	425.9	104.1	3857	15.7	3.5
3046	9.7	3.4	3477	20.5	6.7	3858	9.7	0.1
3054	12.2	6.2	3481	382.1	66.9	3860	20.0	6.4
3066	12.3	3.0	3841	19.0	1.5	3862	13.5	5.7
3069	0.2	0.1	3842	41.4	4.6	3863	6.7	0.1
3072	2.8	1.3	3844	20.8	0.0	3864	0.1	0.0
3078	11.0	5.0	3845	23.8	2.6	3866	40.9	0.5
3084	3.5	1.4	3846	11.0	5.5	3867	15.1	0.0
3087	23.9	7.9	3847	25.8	1.6	3868	5.5	0.5
3417	24.7	8.1	3849	11.2	1.4	3869	5.3	1.1
3465	738.8	114.6	3850	28.6	1.9	4585	16.0	5.3

### VIII. TESTES DE ROBUSTEZ DA METODOLOGIA

Para verificar a robustez da metodologia proposta, diversos testes de comparação entre curvas de resposta em frequência das impedâncias próprias das barras 590 e 471 e de transferência entre elas foram realizados. Estes testes consistiram na adoção de diversos modelos para a representação das cargas críticas e demais cargas do sistema. No entanto, devido a limitações de espaço, apenas dois dos testes realizados são apresentados.

#### A. Primeiro Teste

Para o primeiro teste, uma das curvas de resposta em frequência da impedância própria da barra 590 foi traçada modelando tanto as cargas críticas (apresentadas na TABELA I) quanto as demais por circuitos abertos (curva vermelha). A outra curva foi traçada mantendo a modelagem por circuitos abertos para as cargas críticas e alterando a das demais cargas para curto-circuitos (curva azul). Estas curvas estão mostradas na Fig. 6.

Realizando procedimento análogo para o traçado das curvas de impedância própria da barra 471 e de transferência entre esta barra e a 590, obtém-se os gráficos mostrados na Fig. 7 e Fig. 8. Note que o conjunto de cargas críticas para a impedância própria da barra 471 é formado pelas cargas apresentadas na

TABELA II, enquanto que o conjunto de cargas críticas para a impedância de transferência entre as barras 590 e 471 é formado pela união das cargas apresentadas na TABELA I e na Tabela II.

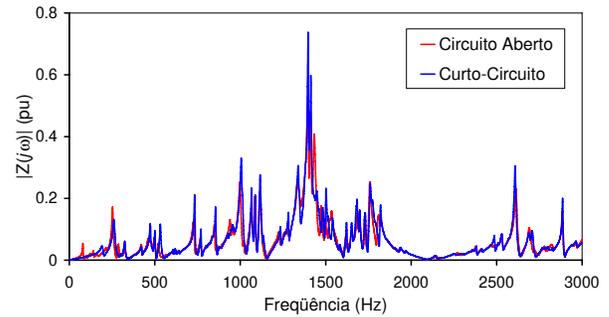


Fig. 6. Módulo da impedância própria da barra 590. Todas as cargas do SIN modeladas por circuitos abertos (curva vermelha). Cargas críticas (TABELA I) modeladas por circuitos abertos e demais cargas do SIN por curto-circuitos (curva azul).

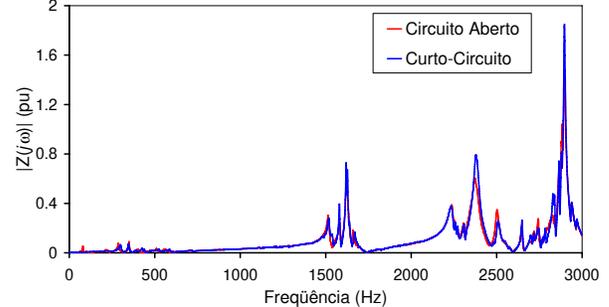


Fig. 7. Módulo da impedância própria da barra 471. Todas as cargas do SIN modeladas por circuitos abertos (curva vermelha). Cargas críticas (

TABELA II) modeladas por circuitos abertos e demais cargas do SIN por curto-circuitos (curva azul).

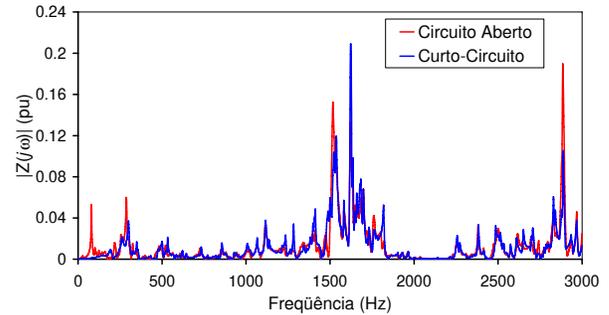


Fig. 8. Módulo da impedância de transferência entre as barras 590 e 471. Todas as cargas do SIN modeladas por circuitos abertos (curva vermelha). Cargas críticas (TABELA I e

TABELA II) modeladas por circuitos abertos e demais cargas do SIN por curto-circuitos (curva azul).

Como se pode observar estas curvas estão bastante próximas. Desta forma, baseando-se nos resultados deste teste, conclui-se que método proposto para a determinação das cargas críticas é válido.

Deve-se observar que, no atual estágio, os procedimentos para a determinação das cargas críticas foram feitos manualmente, exigindo um grande esforço visual e consumo de tempo. Com a automatização computacional dos procedimentos, conforme descrito no item IX, mais cargas críticas poderiam ter sido determinadas, de forma que as curvas azul e vermelha ficariam tão próximas quando se desejasse.

## B. Segundo Teste

O segundo teste é análogo ao primeiro, com a diferença de que as cargas críticas estão agora representadas por circuitos *RLC* paralelo. Os resultados deste teste estão mostrados na Fig. 9, Fig. 10 e Fig. 11.

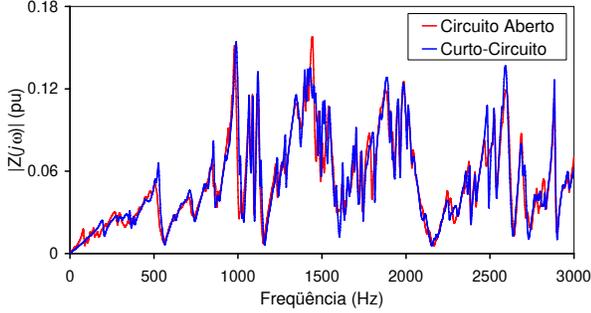


Fig. 9. Módulo da impedância própria da barra 590. Cargas críticas (TABELA I) modeladas por circuitos *RLC* paralelo para ambas as curvas. Demais cargas modeladas por circuitos abertos (curva vermelha) ou por curto-circuitos (curva azul).

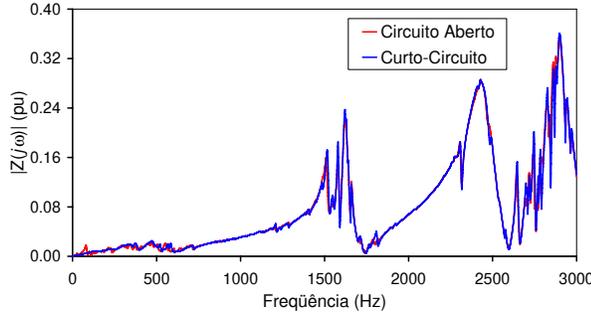


Fig. 10. Módulo da impedância própria da barra 471. Cargas críticas (

TABELA II) modeladas por circuitos *RLC* paralelo para ambas as curvas. Demais cargas modeladas por circuitos abertos (curva vermelha) ou por curto-circuitos (curva azul).

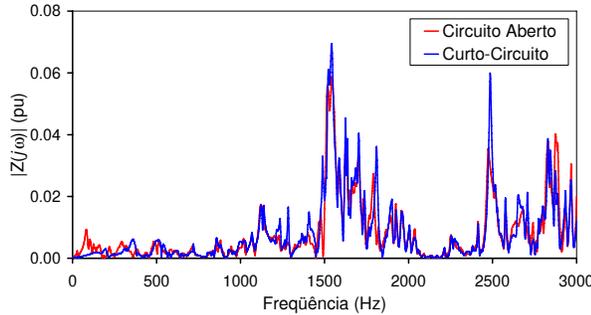


Fig. 11. Módulo da impedância de transferência entre as barras 590 e 471. Cargas críticas (TABELA I e

TABELA II) modeladas por circuitos *RLC* paralelo para ambas as curvas. Demais cargas modeladas por circuitos abertos (curva vermelha) ou por curto-circuitos (curva azul).

Como se pode observar estas curvas estão bastante próximas. Desta forma, baseando-se nos resultados deste teste, conclui-se que o método proposto para a determinação das cargas críticas continua válido.

Como já mencionado, outros testes de robustez foram realizados como, por exemplo, cargas críticas modeladas por circuitos *RLC* série e as demais cargas do SIN por circuitos

abertos ou por curto-circuitos. Os resultados deste outros testes foram similares aos aqui apresentados, não sendo incluídos neste trabalho por falta de espaço.

## IX. CLASSIFICAÇÃO DA IMPORTÂNCIA (INFLUÊNCIA) DAS CARGAS (BARRAS) CRÍTICAS

As cargas críticas podem ser classificadas segundo sua importância que pode ser medida por meio de índices. Nos trabalhos futuros, que darão prosseguimento à pesquisa descrita neste artigo, o índice que se pretende utilizar é dado por:

$$Iicc_k = \frac{1}{f_{final} - f_{inicial}} \int_{f_{inicial}}^{f_{final}} \left| |z_{jj}^{open}| - |z_{jj}^{curto}| \right| df \quad (1)$$

onde  $Iicc_k$  é o índice de importância (influência) da carga crítica  $S_k$  conectada à barra  $k$ ,  $f_{inicial}$  é a frequência inicial do intervalo em que se deseja calcular a influência da carga crítica,  $f_{final}$  é a frequência final do intervalo em que se deseja calcular a influência da carga crítica,  $|z_{jj}^{open}|$  é módulo da impedância própria da barra  $j$  (barra de interesse) quando todas as cargas do sistema estão modeladas por circuitos abertos (sistema descarregado),  $|z_{jj}^{curto}|$  é o módulo da impedância própria da barra  $j$  (barra de interesse) quando todas as cargas do sistema estão modeladas por circuitos abertos (sistema descarregado) com exceção da carga da barra  $k$  que está modelada por um curto-circuito.

Seja  $S_1, S_2, \dots, S_n$  o conjunto de cargas críticas já classificadas por sua importância. Ou seja  $Iicc_1 > Iicc_2 > \dots > Iicc_n$  (a carga crítica  $S_1$  possui mais importância do que a carga crítica  $S_2$  e assim sucessivamente). A carga crítica  $S_1$  deve ter seu modelo realista e detalhado determinado e incluído no sistema. Antes de se determinar o modelo detalhado da carga crítica  $S_2$  e incluí-lo no sistema, a influência da mesma deve ser re-testada da seguinte forma. Em primeiro lugar, todas as cargas do sistema devem ser modeladas por circuitos abertos, com exceção da carga  $S_1$  que já possui seu modelo detalhado. Com esta configuração do sistema, o módulo da impedância própria da barra de interesse  $|z_{jj}^{open, S_1}|$  é calculado para toda a faixa de frequência de interesse. Em segundo lugar, a carga crítica  $S_2$  é modelada por um curto-circuito (os demais modelos permanecem inalterados) e o módulo da impedância própria da barra de interesse  $|z_{jj}^{curto, S_1}|$  é calculado para toda a faixa de frequência de interesse. Utilizando  $|z_{jj}^{open, S_1}|$ ,  $|z_{jj}^{curto, S_1}|$  e (1), o novo índice de influência da carga  $S_2$  é calculado:

$$Iicc_{s_2} = \frac{1}{f_{final} - f_{inicial}} \int_{f_{inicial}}^{f_{final}} \left| |z_{jj}^{open, S_1}| - |z_{jj}^{curto, S_1}| \right| df \quad (2)$$

Com todas as cargas críticas classificadas, as mais importantes devem ser modeladas em detalhes em primeiro lugar. Desta forma, a medida que o modelo detalhado de uma

carga crítica for incluído no sistema, a influência da carga crítica seguinte deve ser testada novamente, com o objetivo de se verificar se com a presença das cargas críticas anteriores, a mesma continua tendo influência.

Com este procedimento, de se recalcularem o índice de influência das cargas críticas, é possível que número de cargas inicialmente classificadas como críticas diminua consideravelmente, evitando-se, desta forma, o gasto de recursos e de tempo para a determinação de modelos detalhados desnecessários.

#### X. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta uma metodologia, baseada em simulação digital, que determina as barras críticas, isto é, aquelas que devem ter suas cargas elétricas modeladas de forma detalhada e precisa e quais as que não têm influência significativa na resposta em frequência das impedâncias próprias das barras de interesse e de transferência entre elas.

A metodologia proposta independe do nível de carregamento do sistema, uma vez que as cargas são modeladas por circuitos abertos ou por curto-circuitos.

Como mostrado, determinando-se os conjuntos de cargas críticas para as respostas em frequência das impedâncias próprias das barras de interesse, estarão também determinados os conjuntos de cargas críticas para as impedâncias de transferência entre elas. Esta propriedade faz com que o trabalho de determinação das cargas que devem ser modeladas em detalhe seja bastante diminuído.

Um índice para medir a importância das cargas críticas é sugerido. Utilizando este índice sucessivas vezes, à medida que os modelos detalhados das cargas vão sendo incluídos no sistema, acredita-se que o número de cargas consideradas inicialmente como críticas possa ser reduzido.

Embora os procedimentos para a determinação das cargas críticas tenham sido descritos e realizados nos exemplos apresentados, os mesmos foram feitos manualmente, ou seja, a aplicação e a retirada dos curtos nas barras que se desejava determinar suas influências foram feitas manualmente, através da interface gráfica do programa HarmZs. Além disto, as comparações das curvas de resposta em frequência das barras de interesse (ver, por exemplo, Fig. 5) foram feitas visualmente. Isto exigiu um grande esforço de análise visual e consumo de tempo. Assim, na continuação desta pesquisa, é necessário que estes procedimentos sejam automatizados. Para esta automatização, julga-se que o índice de importância ou influência das cargas críticas, definido neste trabalho, terá importância fundamental.

#### XI. REFERENCIAS

- [1] Task Force on Harmonic Modeling and Simulation, "Impact of Aggregate Linear Load Modeling on Harmonic Analysis: A comparison of Common Practice and Analytical Models", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 18, no. 2, pp. 625-630, April 2003.
- [2] Sergio Luis Varricchio e Cristiano de Oliveira Costa "Modelagem de Cargas e de Fontes de Corrente entre Barras para Estudos de Comportamento Harmônico de Sistemas de Potência", Relatório Técnico CEPEL, No. DP/DSE-51174-05, 2005.
- [3] Sergio Luis Varricchio, Cristiano de Oliveira Costa, Leandro Ramos de Araujo, Sergio Gomes Jr., Nelson Martins e Paulo Eduardo Martins Quintão, "Manual do Usuário do Programa HarmZs Versão 1.5 para Estudo do Comportamento Harmônico e Análise Modal de Redes Elétricas", Relatório Técnico CEPEL, No. DP-DSE-49627/04, Julho de 2005.
- [4] Edmundo Pinto Neto, Flávio Rodrigo de M. Alves, João Alberto Passos Filho e Ricardo Mota Henriques, "Programa de Análise de Redes – ANAREDE V09-08/06 - Manual do Usuário", Relatório Técnico CEPEL, No. DP-DSE 30875/2006, 2006.
- [5] Ricardo Diniz Rangel, Sergio Gomes Jr. e Julio César Rezende Ferraz, "Programa de Análise de Transitórios Eletromecânicos – ANATEM – Manual do Usuário – V09-08/04", Relatório Técnico CEPEL, No. DP-DSE 46023/04, 2005.

#### XII. BIOGRAPHIES

**Sergio Luis Varricchio** (M'00, SM'06) formado em Engenharia Elétrica pela Universidade Católica de Petrópolis (UCP) em 1987. Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) em 1994. Trabalha no CEPEL desde 1989, atuando nas áreas de análise de sistemas de potência, qualidade de energia e transitórios eletromagnéticos.

**Franklin Clement Véliz** recebeu os graus de Engenheiro Eletricista e Mestre em Engenharia Elétrica e pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) em 2001 e 2005, respectivamente. Trabalha no CEPEL desde 2002, desenvolvendo métodos e ferramentas computacionais para na análise de sistemas de potência.

**Cristiano de Oliveira Costa** formado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) em 2002. Trabalha no CEPEL desde 2002, trabalhando no desenvolvimento de ferramentas computacionais aplicadas a análise da qualidade de energia elétrica.

**Ricardo Penido D. Ross** (M'96, SM'06) recebeu os graus de Engenheiro Eletricista e Mestre em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ). Trabalha no CEPEL desde 1985, desenvolvendo pesquisas e estudos nas áreas de sistemas elétricos de potência e qualidade de energia.

**José Roberto de Medeiros** formado em Engenharia Elétrica pelo Instituto Militar de Engenharia (IME) em 1976. Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) em 1991. No momento trabalha para o ONS como engenheiro consultor na área de qualidade de energia elétrica.

**Dalton O. C. Brasil** formado em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), em 1972. Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco (UFP) em 1996. Atualmente trabalha para o ONS como gerente de administração da transmissão.