

AVALIAÇÃO CRÍTICA DO MÉTODO DO COMPARTILHAMENTO DE RESPONSABILIDADES SOBRE AS DISTORÇÕES HARMÔNICAS BASEADO NA ANÁLISE DO ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS

Andréia Crico dos Santos, José Carlos de Oliveira, Ivan Nunes Santos, Carlos Eduardo Tavares

Núcleo de Qualidade da Energia Elétrica (NQEE)

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia-MG.

andrea.crico@gmail.com, jcoliveira@ufu.br, ivan@ieee.org, cetavares@eel.ufu.br

Resumo - A busca de meios confiáveis para a atribuição de responsabilidades sobre as distorções harmônicas ainda se apresenta como uma questão inacabada na área da Qualidade da Energia Elétrica. A identificação das contribuições individuais das partes envolvidas assume especial importância, sobretudo, para evitar arbitrariedades quando medidas mitigadoras precisam ser implantadas com o intuito de reduzir as distorções harmônicas em um ponto de acoplamento. Dentro desse contexto, uma proposta de metodologia, que é aqui denominada de Análise do Espectro de Frequências, foi recentemente apontada na literatura. Tal método se compromete em definir as parcelas de responsabilidade sobre as distorções harmônicas de maneira bastante prática e se apresenta, à primeira vista, com características atrativas quanto à viabilidade de aplicação em campo. Dada a relevância da temática em foco, este artigo se propõe a avaliar a metodologia aqui em pauta com o estabelecimento de termos conclusivos acerca de sua fundamentação, aplicabilidade e consistência de resultados.

Palavras-Chave - Atribuição de responsabilidades, desempenho de metodologias, distorções harmônicas, qualidade da energia.

CRITICAL EVALUATION OF FREQUENCY SPECTRA ANALYSIS METHOD FOR RESPONSIBILITY ASSIGNMENT ON HARMONIC DISTORTION

Abstract - The search for reliable means for sharing the responsibility assignment on harmonic distortions is still a challenge in the Power Quality area.

The identification of the individual contributions of the parties involved is presented as relevant information, especially to avoid arbitrariness when any mitigating measures need to be implemented in order to reduce the harmonic distortion at the point of common coupling. Within this context a proposal of methodology, which is herein called Frequency Spectra Analysis, has been recently reported in the literature. This method undertakes to define the portions of responsibility for the harmonic distortion in a very practical way and appears, at first sight, with attractive features about the feasibility of field application. Given the relevance of the theme into focus, this article aims to evaluate the methodology in question by establishing conclusive terms about their fundamentals, applicability and consistency of results.

Keywords - Harmonic distortion, performance of methodology, power quality, sharing of responsibility.

I. INTRODUÇÃO

Inserida no ambiente da Qualidade da Energia Elétrica, a problemática das distorções harmônicas, apesar de já amplamente discutida e explorada, ainda desperta questões desafiadoras no cenário científico nacional e internacional. De fato, diante da notável intensificação da quantidade de cargas não lineares ligadas aos sistemas elétricos, e tendo em vista os variados efeitos nocivos que a presença de harmônicos pode provocar, paulatinamente, normas e recomendações têm procurado estabelecer limites que visam manter os padrões de qualidade da energia em patamares aceitáveis.

Sobre tais documentos normativos, pode-se citar, em nível internacional: IEEE Standard 519 [1], IEC 61000-3-6 [2] e EN 50160 [3]. Tratando-se, de modo especial, da realidade vivenciada pelo Brasil dentro desse contexto, é importante salientar que a próxima revisão do módulo 8 do documento Procedimentos de Distribuição (PRODIST) [4] tende a atualizar o cenário em termos dessa problemática no país, fato que certamente despontará novas necessidades em diversos segmentos ligados à área.

Dentro dessa conjuntura, é importante se atentar para o fato de que os documentos existentes até o momento não apresentam preocupações com a origem das distorções, ou seja, não fazem referência a mecanismos capazes de



XII CEEL – ISSN 2178-8308

13 a 17 de Outubro de 2014

Universidade Federal de Uberlândia – UFU
Uberlândia – Minas Gerais – Brasil

determinar, junto a um determinado ponto ou barramento de medição, os percentuais de responsabilidades a serem atribuídos ao sistema supridor e ao consumidor. Assim, visando o estabelecimento de um processo justo, uma vez constatada a violação dos limites preconizados para uma dada avaliação junto ao ponto de acoplamento comum (PAC), torna-se imperativo o emprego de um procedimento sistematizado e confiável que culmine em um consenso sobre a responsabilidade financeira associada ao processo de mitigação a ser implementado em campo.

A partir da análise da literatura em geral, constata-se que até o presente momento essa questão ainda se configura como um desafio, não obstante aos esforços já realizados em exaustivas investigações que buscaram soluções por meio de diferentes linhas de pesquisa. Adentrando nesse contexto, a literatura aponta diferentes procedimentos que se propõem a atribuir responsabilidades sobre as distorções harmônicas [5], [6], [7], [8]. De um modo geral, tais metodologias, por motivos diversos, ainda não se mostram com necessária solidez, sendo que muitos trabalhos já se preocuparam em apontar inconsistências ou imprecisões dos métodos propostos, como é o caso de [9], [10], [11].

O procedimento aqui denominado de Análise do Espectro de Frequências [12] inspira especial interesse por ser uma proposta recente e que, portanto, ainda não foi alvo de maiores avaliações. Dada a atrativa simplicidade de aplicação prática do método, que se compromete em definir as parcelas de responsabilidades das partes envolvidas a partir da análise do espectro de frequências da tensão e da corrente medidas no PAC, é evidente que se faz necessário realizar investigações de desempenho de tal metodologia.

Nesse sentido, o presente trabalho firma como objetivo a realização de uma avaliação crítica do desempenho dessa proposta metodológica para o compartilhamento de responsabilidades sobre as distorções harmônicas. Assim, os estudos subsequentes são direcionados para os seguintes pontos focais:

- Apresentação da fundamentação analítica do Método da Análise do Espectro de Frequências;
- Aplicação da metodologia no âmbito computacional utilizando um sistema teste de características consoantes a sistemas reais;
- Análise dos resultados e estabelecimento de termos conclusivos sobre a adequação do método ora avaliado.

II. FUNDAMENTOS SOBRE O MÉTODO DO ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS

O Método do Espectro de Frequências admite, como ponto inicial, que uma carga com teor puramente resistivo pode ser considerada como uma carga ideal não poluidora, uma vez que, nesse caso, as formas de onda da tensão e da corrente são idênticas.

Seguindo este raciocínio, em termos de atribuição de responsabilidades sobre as distorções harmônicas, torna-se evidente que se as formas de onda da tensão e da corrente no PAC forem idênticas, a responsabilidade é exclusivamente do

sistema supridor. Por outro lado, se tais formas de onda forem distintas entre si, como ocorre na maioria dos casos reais, existem três possibilidades, quais sejam:

- As distorções serem causadas exclusivamente pelo consumidor;
- As distorções serem causadas exclusivamente pelo supridor e as alterações entre as formas de onda de tensão e corrente surgirem devido à presença de elementos reativos na carga;
- Tanto o lado supridor quanto o lado consumidor terem responsabilidades sobre as distorções harmônicas presentes no PAC.

A metodologia estabelece, em um primeiro momento, que as formas de onda de tensão e corrente sejam normalizadas e decompostas em série de Fourier. Este processo pode ser realizado conforme procedimento da Figura 1, como sugerido em [12].

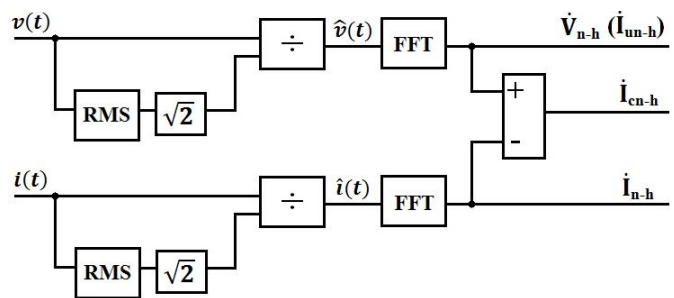


Fig. 1. Preparação dos dados para aplicação da Metodologia.

O procedimento supra-apresentado ilustra a obtenção das grandezas \hat{I}_{n-h} e \hat{V}_{n-h} , as quais são, respectivamente, a corrente e a tensão normalizadas no PAC para dada ordem harmônica h . A tensão \hat{V}_{n-h} , uma vez normalizada, passa a ser denominada por \hat{I}_{un-h} . Nestas circunstâncias, a partir desse ponto, torna-se possível obter a grandeza denominada \hat{I}_{cn-h} , a qual representa a diferença entre os fasores \hat{I}_{n-h} e \hat{I}_{un-h} , conforme é indicado em (1). O método afirma que tal diferença é nula apenas para o caso em que a carga é puramente resistiva e, por consequência, \hat{I}_{cn-h} representa a corrente no PAC procedente da contribuição do sistema consumidor [12].

$$\hat{I}_{cn-h} = \hat{I}_{n-h} - \hat{I}_{un-h} \quad (1)$$

A partir da obtenção dos fasores \hat{I}_{un-h} , \hat{I}_{n-h} e \hat{I}_{cn-h} , o método articula que as contribuições do supridor ($I_{s-contr-h}$) e do consumidor ($I_{c-contr-h}$) podem ser determinadas a partir de (2) e (3), respectivamente.

$$I_{s-contr-h} = |\hat{I}_{un-h}| \cdot \cos \alpha \quad (2)$$

$$I_{c-contr-h} = |\hat{I}_{cn-h}| \cdot \cos \beta \quad (3)$$

Onde:

α = ângulo entre os fasores \hat{I}_{un-h} e \hat{I}_{n-h} ;

β = ângulo entre os fasores \hat{I}_{cn-h} e \hat{I}_{n-h} .

Para melhor elucidar a filosofia da metodologia, na Figura 2 são mostrados os fasores envolvidos no procedimento. Nota-

se que as contribuições de responsabilidade do supridor ($I_{s\text{-contr-h}}$) e do consumidor ($I_{c\text{-contr-h}}$) nada mais são do que as projeções das grandezas normalizadas \hat{V}_{n-h} e \hat{I}_{cn-h} , respectivamente, sobre o vetor \hat{I}_{n-h} .

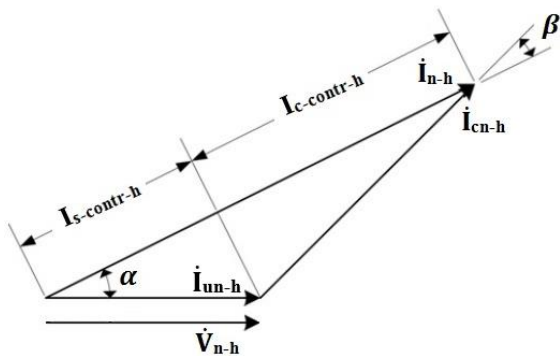


Fig. 2. Representação dos fasores normalizados para a ordem h.

III. SISTEMA TESTE E CASOS CONSIDERADOS PARA A AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA

A. Arranjo Elétrico Utilizado

A metodologia baseada na Análise do Espectro de Frequências para a atribuição de responsabilidades sobre as distorções harmônicas foi avaliada por meio de investigações computacionais. Tendo em vista que o objetivo, por ora posto, é basicamente verificar a eficácia deste método, optou-se por utilizar um arranjo que fosse ao mesmo tempo simples e verossímil às características de instalações reais. Assim, o sistema teste usado abrange a representação de uma unidade consumidora com cargas resistivas (lâmpadas incandescentes, aquecedores, etc), cargas capacitivas (banco de capacitores), cargas indutivas (motores) e cargas não lineares (retificadores, inversores, etc.).

É importante salientar que, para efeito de simulação, a geração foi adotada como constituída por uma fonte alternada monofásica e a impedância do sistema supridor pôde ser definida a partir do nível de curto circuito do barramento em questão. O diagrama de blocos do sistema empregado nas análises subsequentes é apresentado na Figura 3.

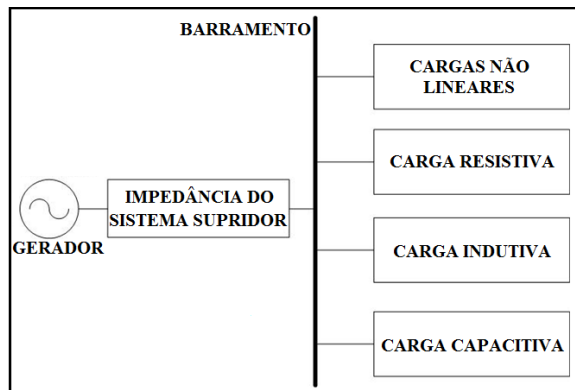


Fig. 3. Diagrama de blocos do sistema de avaliação da metodologia.

A Tabela I reúne as informações necessárias para a parametrização do arranjo elétrico utilizado. Vale ressaltar que

os dados referem-se a um arranjo trifásico, porém, os trabalhos foram realizados para apenas uma das fases, como anteriormente mencionado.

Tabela I - Parâmetros dos Componentes do Sistema Elétrico

Descrição	Parametrização
Nível de Tensão entre Linhas	13800 V
Potência Trifásica de Curto Circuito do Barramento	116∠88° MVA
Potência Ativa Trifásica da Carga	5,91 MW
Potência Reativa Indutiva Trifásica da Carga	3,62 MVar
Potência Reativa Capacitiva Trifásica da Carga	1,12 MVar
Cargas Não-Lineares	Representadas por uma fonte de corrente harmônica

De posse dos dados constantes na Tabela I, foi possível elaborar o sistema para fins de simulação, o qual culminou no circuito elétrico apresentado na Figura 4. Para tanto, como mostrado na própria figura, utilizou-se como base para os estudos computacionais o Simulador ATP (*Alternative Transients Program*).

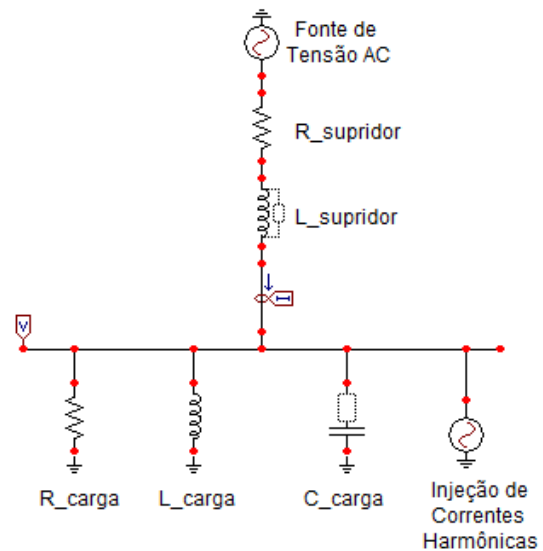


Fig. 4. Arranjo físico utilizado nos testes de desempenho.

Na Figura 4 foi utilizada a seguinte simbologia:

- Fonte de Tensão AC – fonte alternada de suprimento;
- $R_{supridor}$ – resistência do sistema supridor;
- $L_{supridor}$ – indutância do sistema supridor;
- R_{carga} – resistência de carga;
- L_{carga} – indutância de carga;
- C_{carga} – capacitância de carga;
- Fonte de Corrente Harmônica – caracterizando os efeitos gerados pela presença das cargas não lineares.

B. Casos Investigados

Com o intuito de propiciar a avaliação de desempenho da metodologia em condições operacionais consoantes às possibilidades existentes em sistemas reais, considerou-se

pertinente realizar simulações referentes a três condições hipotéticas, como é descrito a seguir:

1) *Condição 1*: consumidor totalmente responsável pelas distorções harmônicas presentes no ponto de acoplamento comum.

Foi considerada, nessa condição, a aplicação de uma tensão de suprimento puramente senoidal. O consumidor, por sua vez, caracterizou-se por possuir cargas lineares e não lineares, sendo que a presença das cargas especiais foi representada por uma fonte capaz de injetar correntes de frequências harmônicas no sistema. A Tabela II exibe as características da fonte de corrente utilizada.

Tabela II - Parâmetros da Fonte de Corrente Utilizada

Frequência [Hz]	Corrente [A]
180	60,10∠45°
300	85,56∠88°
420	16,26∠52°

Após a simulação, os valores obtidos para as tensões e correntes harmônicas de fase no PAC para a condição 1 são apresentados na Tabela III.

Tabela III - Valores de Corrente e Tensão no PAC obtidos por Simulação Computacional para a Condição 1

Ordem Harmônica	Grandeza	Valor
1ª	V	7768∠-3,14° V
	I	262,1∠-26,25° A
3ª	V	319,7∠125,80° V
	I	63,43∠-145,10° A
5ª	V	849,00∠157,90° V
	I	102,90∠-111,70° A
7ª	V	279,40∠106,60° V
	I	24,12∠-163,90° A

De acordo com as características estabelecidas, espera-se que nessa condição seja atribuído ao consumidor um percentual de 100% de responsabilidade sobre as distorções harmônicas presentes no PAC.

2) *Condição 2*: sistema supridor totalmente responsável pelas distorções harmônicas presentes no ponto de acoplamento comum.

Para a simulação dessa condição, foi aplicada uma tensão de suprimento com padrão de distorção pré-definido, enquanto que o consumidor foi caracterizado pela presença de cargas exclusivamente lineares.

Assim, foram adicionadas componentes de quinta, sétima e décima primeira ordens harmônicas à tensão de frequência fundamental da fonte supridora, como indica a Tabela IV.

Tabela IV - Parâmetros da Fonte de Tensão Utilizada

Frequência [Hz]	Tensão de linha [V]
60	7967,43∠0°
300	696,96∠25°
420	458,73∠81°
660	338,93∠117°

Nessas circunstâncias, a Tabela V apresenta os valores das tensões e correntes harmônicas de fase obtidas no PAC.

Tabela V - Valores de Corrente e Tensão no PAC obtidos por Simulação Computacional para a Condição 1

Ordem Harmônica	Grandeza	Valor
1ª	V	7770∠-3,14° V
	I	261,8∠-26,05° A
5ª	V	834,7∠5,66° V
	I	33,9∠45,69° A
7ª	V	684,9∠46,4° V
	I	34,29∠97,32° A
11ª	V	576,4∠9,75° V
	I	40,87∠73,65 A

Nesse caso, a responsabilidade sobre as distorções harmônicas que deve ser atribuída ao supridor é reconhecidamente definida como 100%.

3) *Condição 3*: responsabilidades sobre as distorções harmônicas no PAC compartilhadas entre as partes envolvidas.

Essa condição foi caracterizada pela aplicação de uma tensão de suprimento com padrão de distorção pré-definido e consumidor contendo cargas lineares e não lineares.

Para isso, foram impostos, simultaneamente, os distúrbios característicos das condições 1 e 2. Desse modo, as tensões e correntes harmônicas de fase no PAC para a condição 3 são apresentadas na Tabela VI.

Tabela VI - Valores de Corrente e Tensão no PAC obtidos por Simulação Computacional para a Condição 3

Ordem Harmônica	Grandeza	Valor
1ª	V	7769∠-3,12° V
	I	261,9∠-26,17° A
3ª	V	319,70∠124,80° V
	I	63,09∠-145,40° A
5ª	V	404,30∠82,88° V
	I	72,74∠-101,20° A
7ª	V	860,70∠62,54° V
	I	38,69∠135,1° A
11ª	V	578,5∠9,61° V
	I	41,06∠73,38° A

A análise dos casos anteriores permite inferir que, na condição 3, a distorção de ordem três provém exclusivamente do consumidor, enquanto que a distorção de décima primeira ordem harmônica é totalmente devida ao sistema supridor. Por outro lado, as distorções de quinta e sétima ordens têm responsabilidades compartilhadas entre as partes. Para tanto, observe os dados destacados nas Tabelas III, V e VI.

Dessa maneira, para definir as parcelas de contribuição às distorções de ordem cinco e sete que devem ser atribuídas a cada parte envolvida, aplicar-se-á o Método da Superposição [7,8]. Esta metodologia baseia-se em um conceito básico da análise de circuitos elétricos e, apesar de apresentar resultados consistentes, sua aplicação prática é dificultada devido à necessidade do prévio conhecimento das impedâncias harmônicas equivalentes da concessionária e, de modo

especial, do consumidor. Uma vez que tais dados podem ser facilmente obtidos nesse sistema teste, o método da superposição poderá ser seguramente utilizado e seus resultados, os quais são mostrados na Tabela VII, serão tomados como base de comparação com os valores fornecidos pelo Método da Análise do Espectro de Frequências.

Tabela VII - Resultados obtidos pelo Método da Superposição para o Compartilhamento de Responsabilidades na Condição 3

Ordem Harmônica	Responsabilidade do Supridor	Responsabilidade do Consumidor
3ª	0,35%	99,65%
5ª	21,77%	78,23%
7ª	70,30%	29,70%
11ª	99,60%	0,40%

IV. ANÁLISE DO DESEMPENHO DA METODOLOGIA DA ANÁLISE DO ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS PARA OS CASOS INVESTIGADOS

A partir dos valores advindos das simulações, foram seguidos os procedimentos necessários à aplicação do Método da Análise do Espectro de Frequências. A Tabela VIII mostra os valores obtidos para \hat{I}_{un-h} , \hat{I}_{n-h} e \hat{I}_{cn-h} para as três condições investigadas.

Tabela VIII - Valores Obtidos para Grandezas Intermediárias no Processo de Aplicação da Metodologia da Análise do Espectro de Frequências

Condição	Ordem Harm.	\hat{I}_{un-h} [A]	\hat{I}_{n-h} [A]	\hat{I}_{cn-h} [A]
1	3ª	0,0409∠125,8°	0,219∠-145,1°	0,2221∠-134,5°
	5ª	0,1085∠157,9°	0,355∠-111,7°	0,3722∠-94,75°
	7ª	0,0357∠106,6°	0,083∠-163,9°	0,0903∠-140,6°
2	5ª	0,1061∠5,65°	0,1259∠45,69°	0,0816∠102,51°
	7ª	0,0871∠46,40°	0,1273∠97,32°	0,0991∠140,34°
	11ª	0,0733∠9,75°	0,1518∠73,65°	0,1364∠102,49°
3	3ª	0,0407∠124,8°	0,221∠-145,4°	0,2252∠-134,9°
	5ª	0,0515∠82,88°	0,256∠-101,2°	0,307∠-100,52°
	7ª	0,1096∠62,54°	0,1359∠135,1°	0,147∠-179,49°
	11ª	0,0765∠9,61°	0,1442∠73,38°	0,1298∠103,99°

Procedendo-se às etapas finais de aplicação da metodologia, a seguir são apresentados e discutidos os resultados obtidos:

- Condição 1:

A Tabela IX apresenta os valores resultantes encontrados para a condição 1.

Tabela IX - Resultados Finais da Aplicação do Método da Análise do Espectro de Frequências para a Condição 1

Ordem Harm.	$I_{s-contr-h}$ [A]	$I_{c-contr-h}$ [A]	Resp. do Supridor	Resp. do Consumidor
3ª	0,0006	0,2184	0,29%	99,71%
5ª	-0,0008	0,3560	0,21%	99,79%
7ª	0,0003	0,0830	0,37%	99,63%

Conforme se observa, os percentuais de responsabilidade sobre as distorções harmônicas no PAC atribuídos às partes envolvidas corresponderam às expectativas, uma vez que o

consumidor se apresentou como o único responsável pelas distorções.

A Figura 5 exibe os resultados esperados e os obtidos para cada ordem harmônica, e permite visualizar, claramente, que a metodologia se mostra consistente nessa condição.

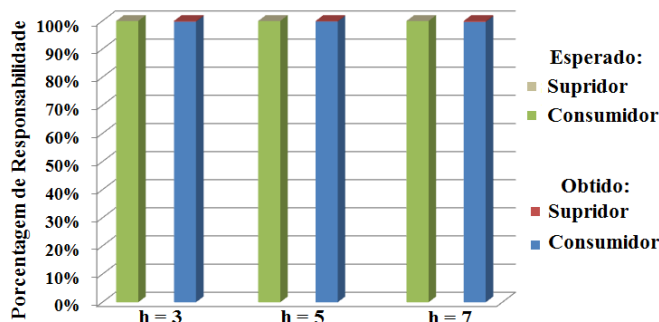


Fig. 5. Resultados da aplicação da metodologia na condição 1.

- Condição 2:

Os valores finais obtidos para a condição de número 2 são apresentados na Tabela X.

Tabela X - Resultados Finais da Aplicação do Método da Análise do Espectro de Frequências para a Condição 2

Ordem Harm.	$I_{s-contr-h}$ [A]	$I_{c-contr-h}$ [A]	Resp. do Supridor	Resp. do Consumidor
5ª	0,0812	0,0446	64,55%	35,45%
7ª	0,0549	0,0724	43,11%	56,89%
11ª	0,0322	0,1195	21,25%	78,75%

Diante do exposto, constata-se que os resultados obtidos se distanciam consideravelmente daqueles esperados, visto que na realidade apenas o sistema supridor se apresenta como responsável pelas distorções no PAC nessa condição. Observa-se que na quinta ordem harmônica foi atribuída uma parcela de responsabilidade indevida de 35,45% ao consumidor, enquanto que para a sétima e a décima primeira ordens a situação foi ainda pior, pois atribuiu erroneamente responsabilidade majoritária ao consumidor. A Figura 6 contribui para a visualização dos resultados.

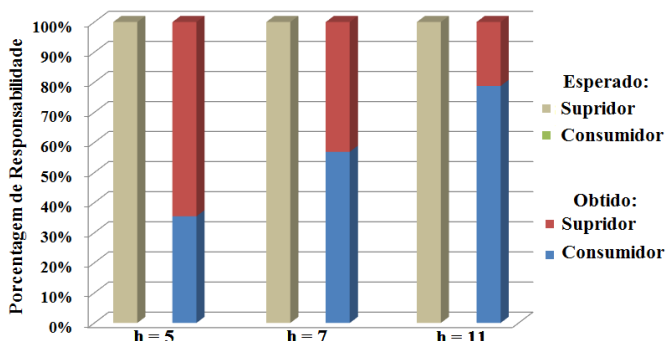


Fig. 6. Resultados da aplicação da metodologia na condição 2.

- Condição 3:

A Tabela XI reúne os resultados encontrados para a terceira condição analisada.

Tabela XI. Resultados Finais da Aplicação do Método da Análise do Espectro de Frequências para a Condição 3

Ordem Harm.	$I_{s\text{-contr-h}}$ [A]	$I_{c\text{-contr-h}}$ [A]	Resp. do Supridor	Resp. do Consumidor
3 ^a	0,0001	0,2215	0,06%	99,94%
5 ^a	-0,0513	0,3069	14,33%	85,67%
7 ^a	0,0328	0,1031	24,16%	75,84%
11 ^a	0,0325	0,1117	22,57%	77,43%

As parcelas de responsabilidades exibidas na Tabela XI foram confrontadas com aquelas apresentadas na Tabela VII, as quais são consideradas como base de comparação. Observa-se que para a terceira ordem harmônica os cálculos tiveram caráter consistente, enquanto que para a quinta harmônica houve um erro relativo próximo a 10%. Já para a sétima e décima primeira ordens foram atribuídas responsabilidades de maneira totalmente incoerente, sendo que até mesmo a fonte predominante das distorções foi incorretamente definida.

Esses resultados indicam que para esse caso, assim como ocorreu na condição 2, a metodologia da Análise do Espectro de Frequências se mostra consideravelmente frágil. A Figura 7 permite perceber a discrepância entre os valores esperados e os obtidos para o caso 3.

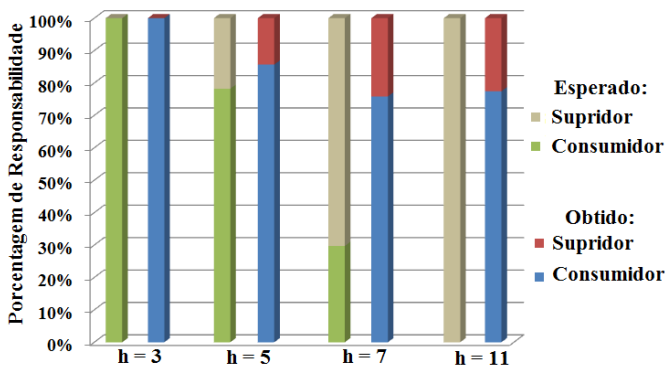


Fig. 7. Resultados da aplicação da metodologia na condição 3.

V. CONCLUSÕES

Este trabalho insere-se no contexto da análise de metodologias que se propõem a definir as contribuições da parte supridora e consumidora para as distorções harmônicas em determinado ponto de acoplamento. Dentro desse particular, objetivou-se avaliar a consistência metodológica do procedimento baseado na Análise do Espectro de Frequências, o qual foi recentemente apresentado na literatura.

Assim, este artigo procurou explorar o método em pauta sob o ponto de vista de seus princípios, solidez e coerência de resultados. Para tal, foram consideradas três condições operativas aplicadas a um sistema teste que buscou reunir simplicidade e proximidade às características de arranjos elétricos reais.

A metodologia analisada, apesar de se comprometer a fornecer a separação das parcelas de responsabilidades entre o

consumidor e o supridor de maneira bastante prática, mostrou-se insatisfatória com os propósitos pretendidos. Observou-se que mesmo para condições pouco complexas ela apresentou consideráveis falhas, fato que permite depreender que tal procedimento não pode ser confiável em estudos de sistemas reais. Ressalta-se que além de grandes erros relativos, o método conduziu até mesmo a resultados equivocados no sentido de indicar a fonte majoritária de distorções.

A inexatidão dos resultados pode estar associada às considerações teóricas do método, que partem do princípio de o consumidor possuir teor puramente resistivo. Tal fato inviabiliza a sua utilização em sistemas reais que em sua grande maioria contam com cargas compostas por elementos resistivos e reativos.

Diante do exposto, este trabalho indicou a fragilidade do Método da Análise do Espectro de Frequências com vistas à determinação da atribuição de responsabilidades. Torna-se evidente, então, que esforços ainda se fazem necessários para o estabelecimento de procedimentos que conduzam a uma metodologia eficiente e viável para aplicações práticas.

REFERÊNCIAS

- [1] IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems, IEEE Standard 519-1992.
- [2] Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 3: Limits - Section 6: Assessment of emission limits for distorting loads in MV and HV power systems - Basic EMC publication, IEC 61000-3-6, 1996.
- [3] Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems, European Standard EN 50160:1999.
- [4] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, “Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional – PRODIST”. Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica. Brasília, 2012.
- [5] T. Tanaka, H. Akagi, “A new method of harmonic power detection based on the instantaneous active power in three-phase circuits”, IEEE Transactions on Power Delivery, v. 10, n. 4, p. 1737-1742, 1995.
- [6] K. Srinivasan e R. Juras, “Conforming and non-conforming current for attributing steady state power quality problems”, IEEE Transactions on Power Delivery, v. 13, n. 1, January 1998.
- [7] W. Xu, Y. Liu, “A method for determining customer and utility harmonic contributions at the point of common coupling”, IEEE Transactions on Power Delivery, v. 15, n. 2, p. 804-811, 2000.
- [8] W. Xu, Y. Liu, “A method to determine customer harmonic contributions for incentive-based harmonic control applications”, IEEE Panel on Harmonic Measurements and Allocation, p. 361-366, 1999.
- [9] I. N. Santos, J. C. Oliveira, S. F. P. Silva, “Critical evaluation of the performance of the method of harmonic power flow to determine the dominant source of distortion”, IEEE Latin America Transactions, v. 9, n. 5, p. 740-746, 2011.
- [10] I. N. Santos, J. C. Oliveira, “Critical Analysis of the Current and Voltage Superposition Approaches at Sharing Harmonic Distortion Responsibility”, IEEE Latin America Transactions, v. 9, n. 4, 2011.
- [11] A. C. Santos, J. C. Oliveira, I. N. Santos, C. E. Tavares, “Avaliação do Método da Corrente Conforme e Não-Conforme para Compartilhamento de Responsabilidades sobre as Distorções Harmônicas”, Anais Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, Foz do Iguaçu/PR, 2014.
- [12] F. M. Fernandez, P. S. Chandramohan Nair, “Method for separation of customer and utility contributions of harmonics at point of common coupling”, IET Generation, Transmission & Distribution, v. 7, n. 4, p. 374-381, 2013.