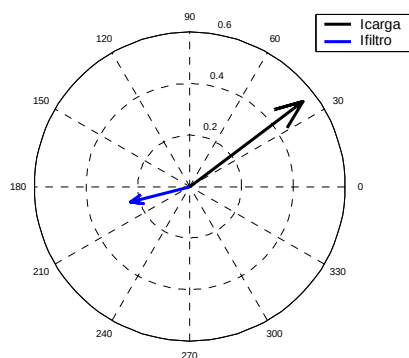
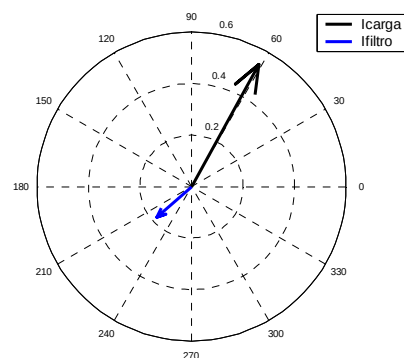
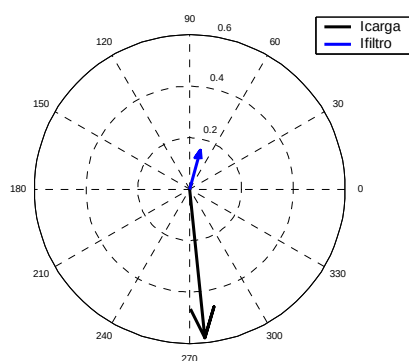




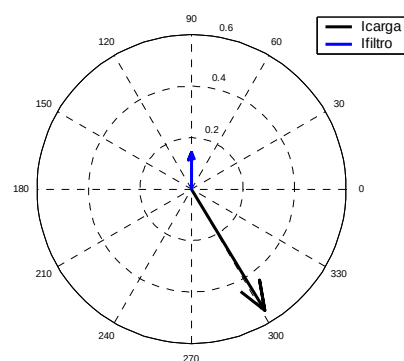
Linha A - experimental - 7ª ordem



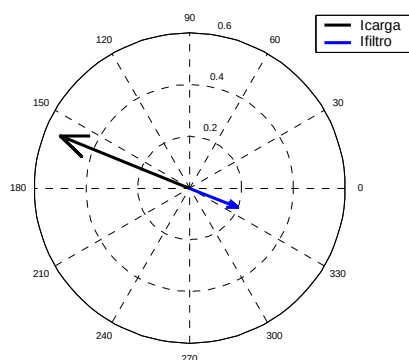
Linha A - computacional - 7ª ordem



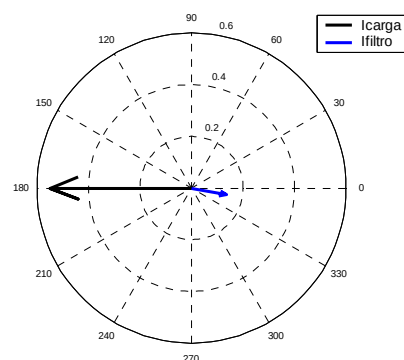
Linha B - experimental - 7ª ordem



Linha B - computacional - 7ª ordem



Linha C - experimental - 7ª ordem



Linha C - computacional - 7ª ordem

Figura 5.43 - Diagramas fasoriais das correntes de linha na carga e no filtro - experimental e computacional - tensão de suprimento reduzida - 7ª ordem - filtro de seqüência positiva e negativa

Tal como aconteceu para o caso anterior, observa-se uma forte influência do valor da tensão de suprimento senoidal no desempenho do filtro ora sob enfoque. Neste particular, é possível constatar as baixas correntes harmônicas oriundas do mesmo, justificadas através da baixa saturação, em decorrência da baixa tensão de suprimento. Novamente, a comparação

destes diagramas com aqueles oriundos das figuras 4.25 e 4.26 permitem ratificar as afirmativas anteriores.

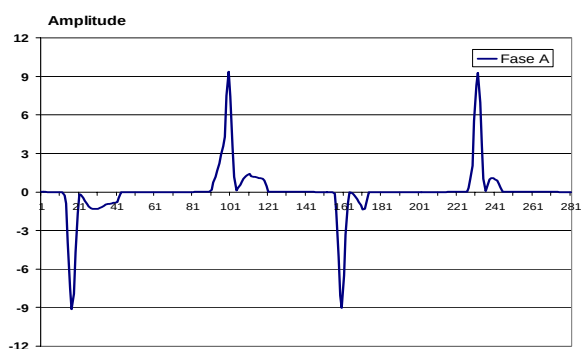
Caso b-3 - Carga não-linear desequilibrada

De modo a contemplar esta situação não-ideal, adotou-se uma nova composição para a carga, a qual passou a ser constituída por 3 unidades retificadoras distintas, cujas potências são: $S_A=370\text{VA}$, $S_B=470\text{VA}$ e $S_C=580\text{VA}$. Quanto às demais grandezas, estas foram restauradas aos valores empregados quando das investigações sob condições ideais de funcionamento do filtro. As figuras 5.44-5.49 apresentam os resultados para as correntes de linha registradas na carga não-linear, na alimentação e, por fim, no filtro de seqüência positiva e negativa. Como para os demais casos, ambos os desempenhos, experimental e computacional, são destacados.

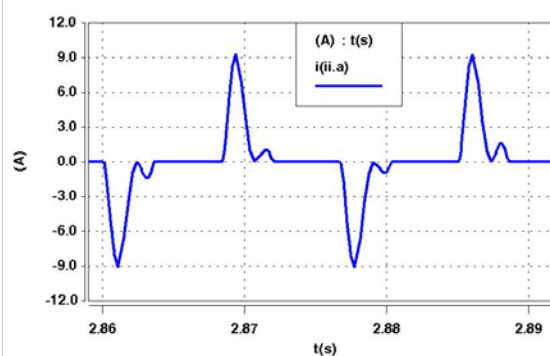
(a) Corrente na carga não-linear

A figura 5.44 apresenta, respectivamente, as correntes de linha A, B e C obtidas na carga não-linear.

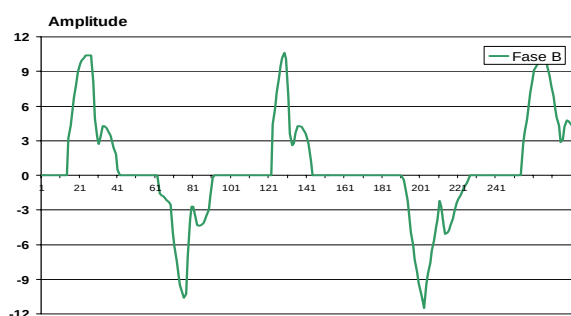
Complementarmente, a figura 5.45 fornece os correspondentes espectros de frequência para as correntes anteriores, novamente, em valores de pico.



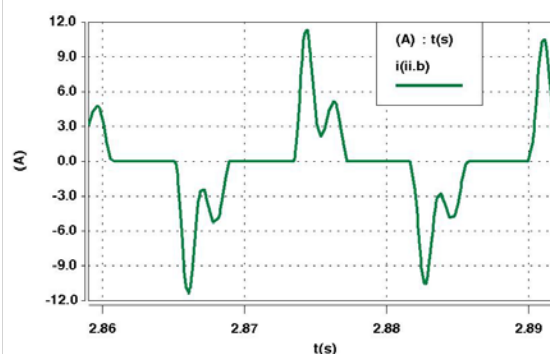
Linha A - carga não-linear - experimental



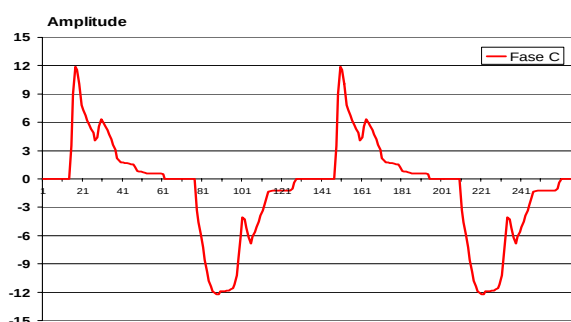
Linha A - carga não-linear - computacional



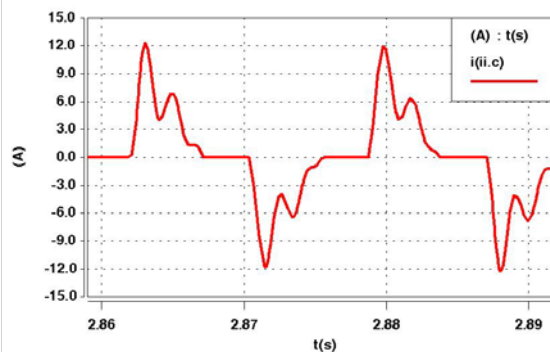
Linha B - carga não-linear - experimental



Linha B - carga não-linear - computacional

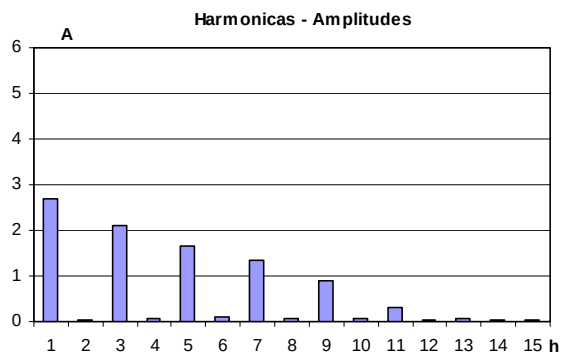


Linha C - carga não-linear - experimental

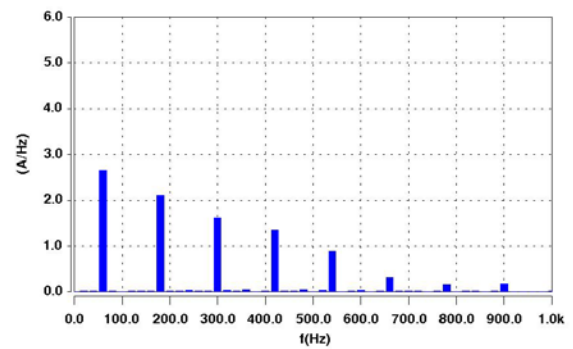


Linha C - carga não-linear - computacional

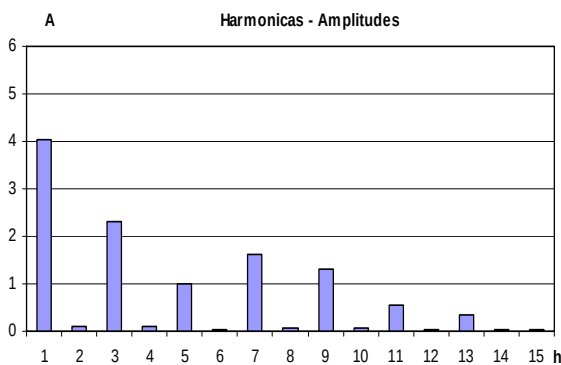
Figura 5.44 - Formas de onda das correntes de linha na carga não-linear - experimental e computacional - carga não-linear desequilibrada - filtro de sequência positiva e negativa



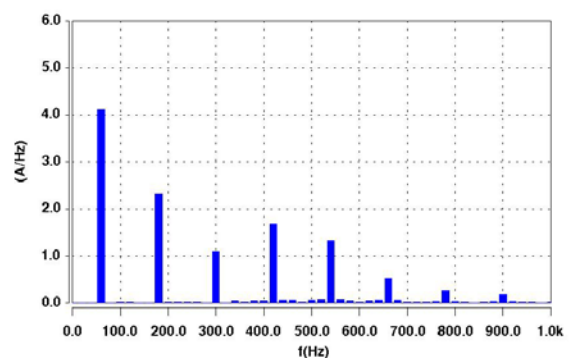
Linha A - carga não-linear - experimental



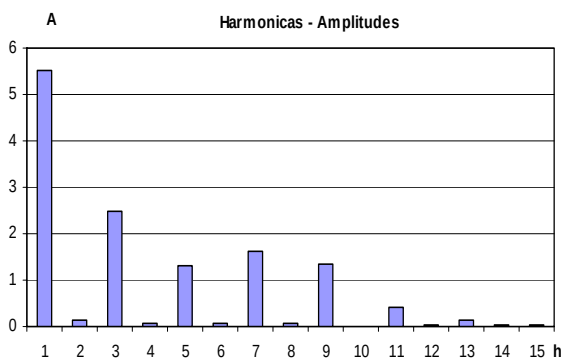
Linha A - carga não-linear - computacional



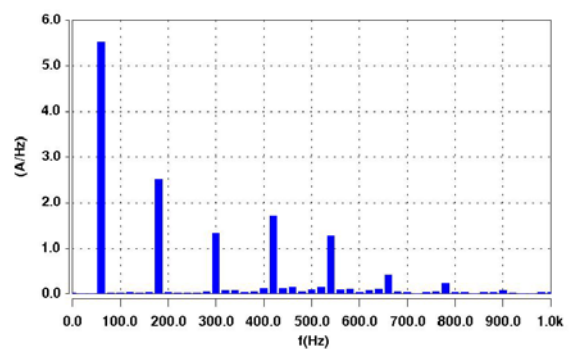
Linha B - carga não-linear - experimental



Linha B - carga não-linear - computacional



Linha C - carga não-linear - experimental

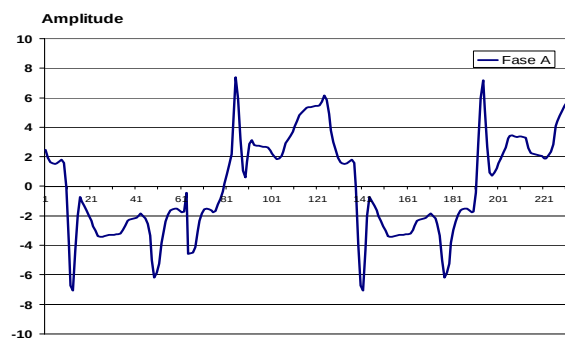


Linha C - carga não-linear - computacional

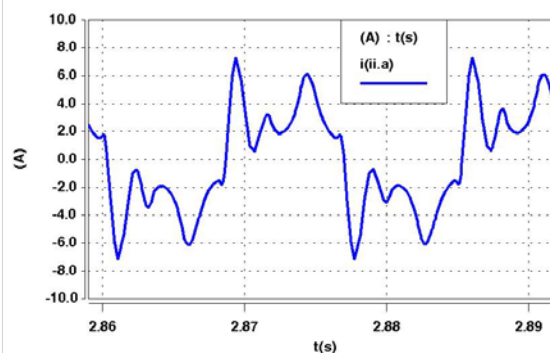
Figura 5.45 - Espectros harmônicos das correntes na carga não-linear - experimental e computacional - carga não-linear desequilibrada - filtro de seqüência positiva e negativa

(b) Corrente de linha do alimentador

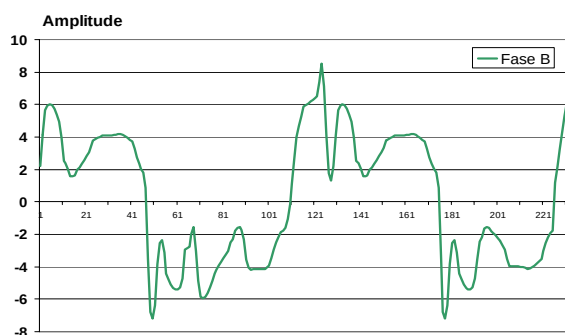
A figura 5.46 mostra, respectivamente, as correntes nas linhas A, B e C no alimentador.



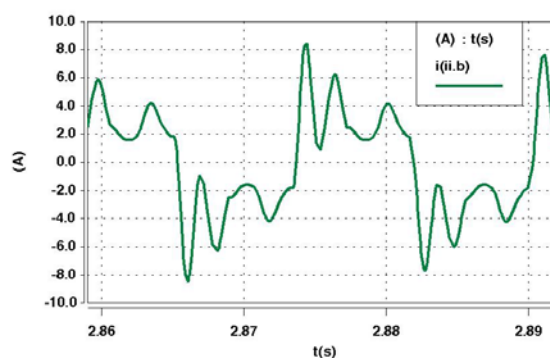
Linha A - alimentador - experimental



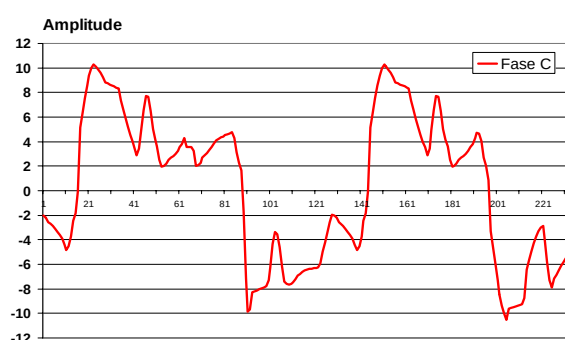
Linha A - alimentador - computacional



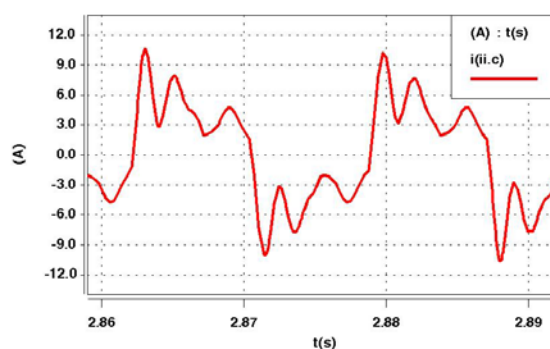
Linha B - alimentador - experimental



Linha B - alimentador - computacional



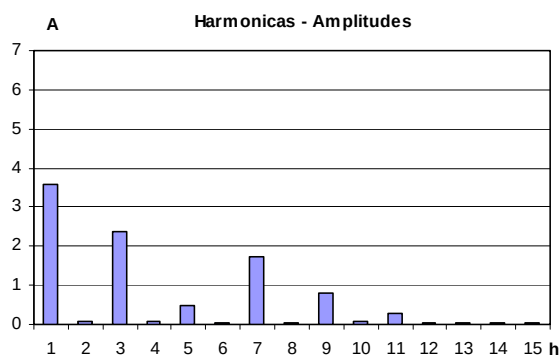
Linha C - alimentador - experimental



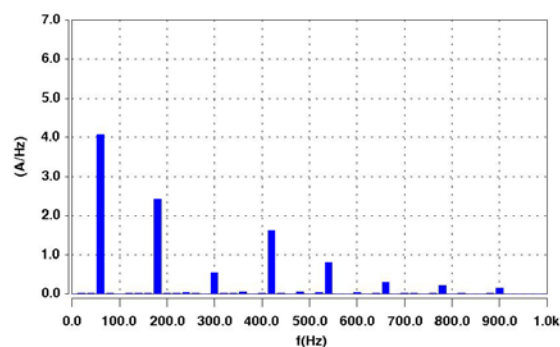
Linha C - alimentador - computacional

*Figura 5.46 - Formas de onda das correntes de linha no alimentador - experimental e computacional
- carga não-linear desequilibrada - filtro de seqüência positiva e negativa*

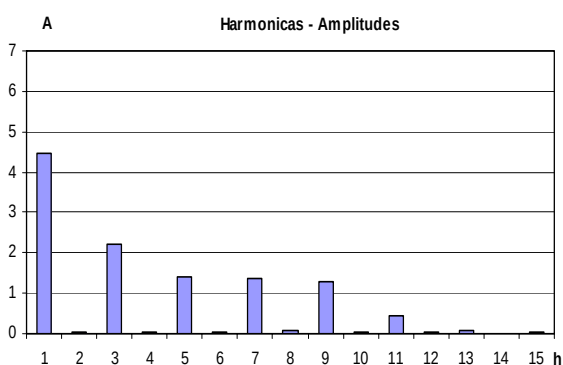
De modo análogo aos casos anteriores, a figura 5.47 é indicativa dos espectros harmônicos das correntes na alimentação.



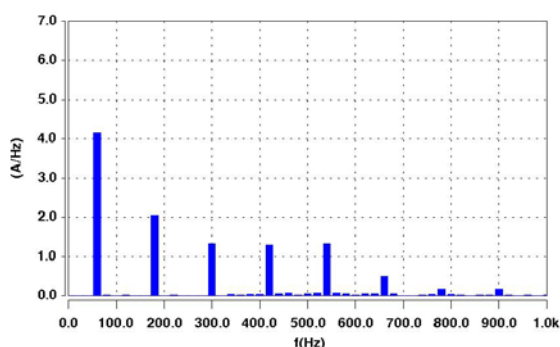
Linha A - alimentador - experimental



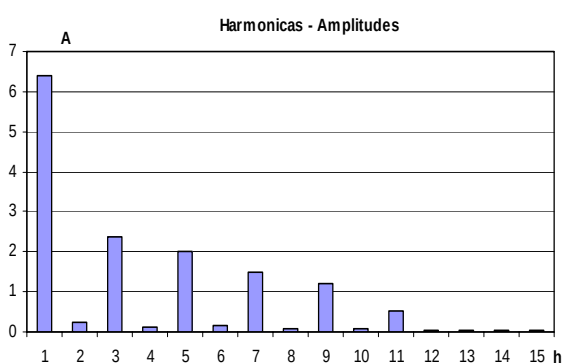
Linha A - alimentador - computacional



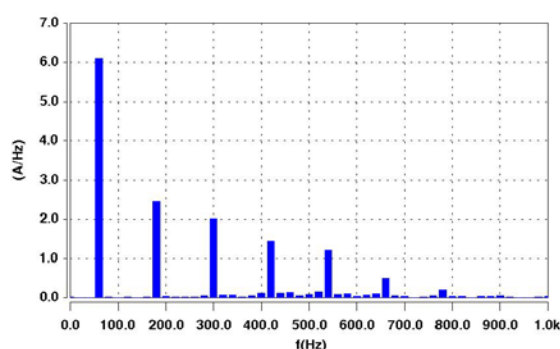
Linha B - alimentador - experimental



Linha B - alimentador - computacional



Linha C - alimentador - experimental

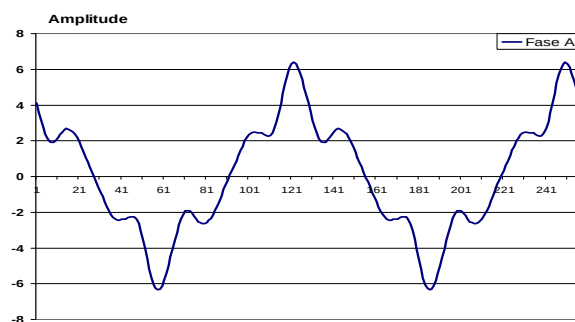


Linha C - alimentador - computacional

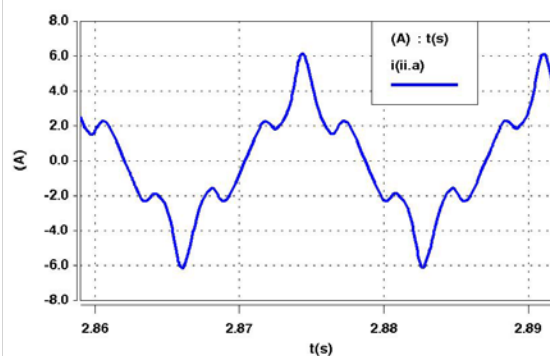
Figura 5.47 - Espectros harmônicos das correntes de linha no alimentador - experimental e computacional - carga não-linear desequilibrada - filtro de sequência positiva e negativa

(c) Corrente de linha no filtro de seqüência positiva e negativa

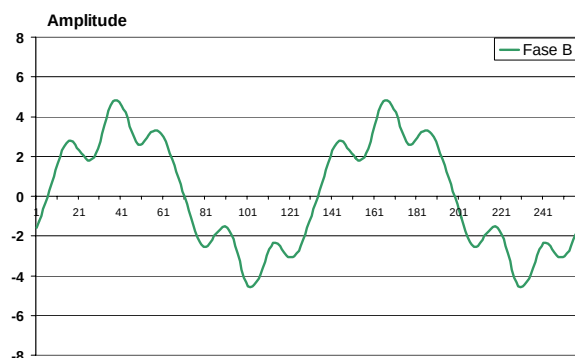
Por fim, a figura 5.48 fornece, respectivamente, as correntes de linha A, B e C do filtro eletromagnético.



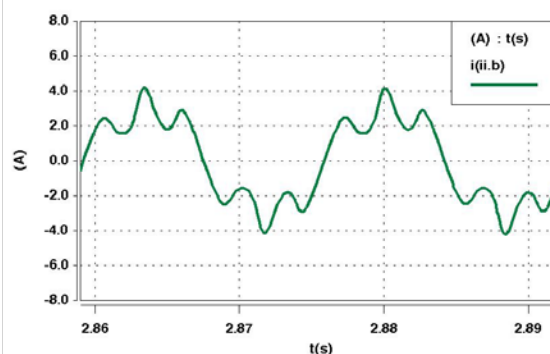
Linha A - filtro - experimental



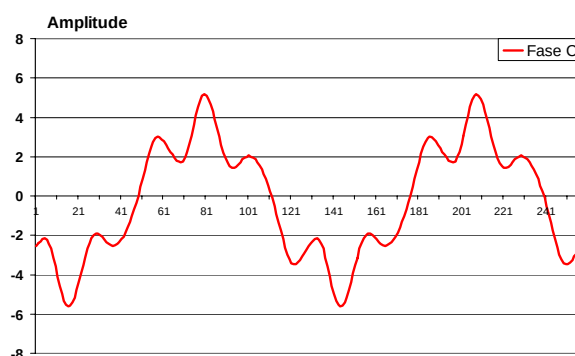
Linha A - filtro - computacional



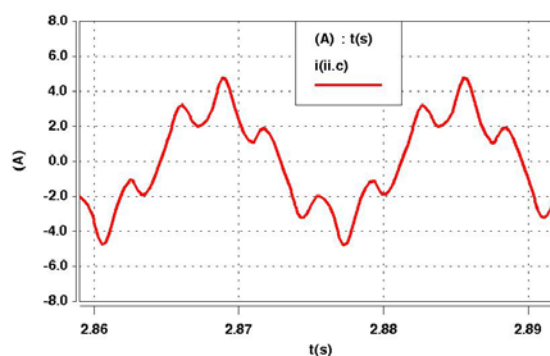
Linha B - filtro - experimental



Linha B - filtro - computacional



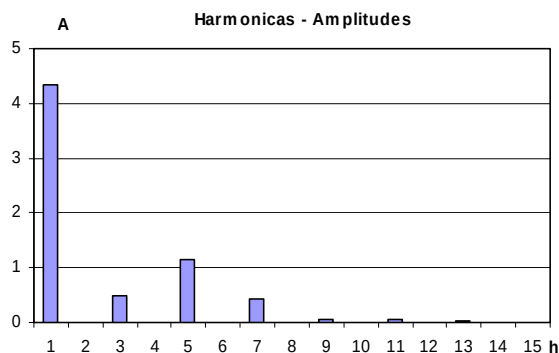
Linha C - filtro - experimental



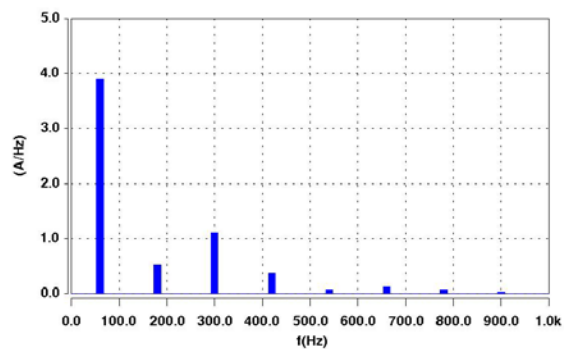
Linha C - filtro - computacional

Figura 5.48 - Formas de onda das correntes de linha no filtro - experimental e computacional - carga não-linear desequilibrada - filtro de seqüência positiva e negativa

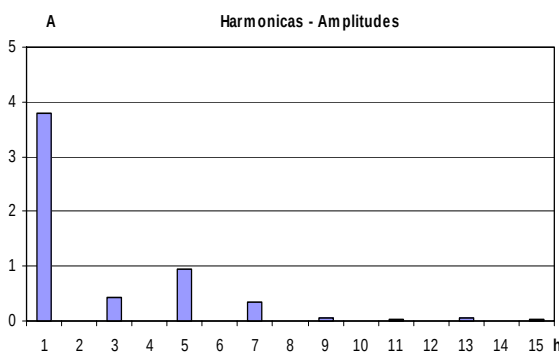
A figura 5.49 indica os correspondentes espectros harmônicos.



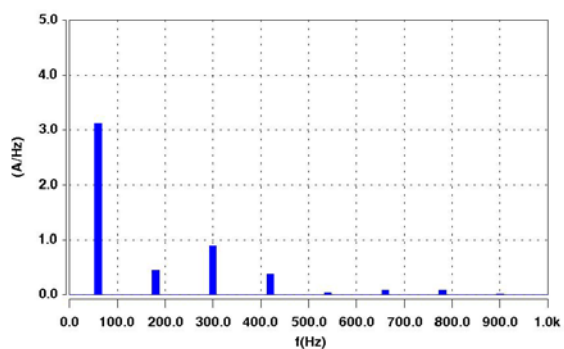
Linha A - filtro - experimental



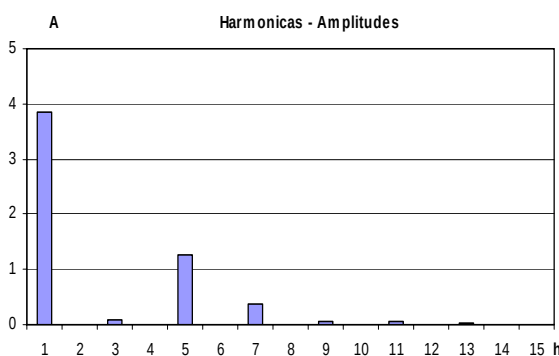
Linha A - filtro - computacional



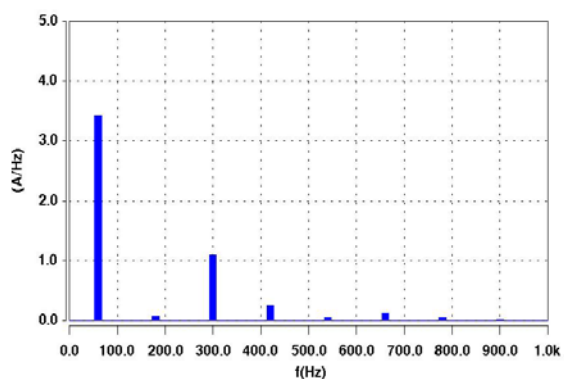
Linha B - filtro - experimental



Linha B - filtro - computacional



Linha C - filtro - experimental

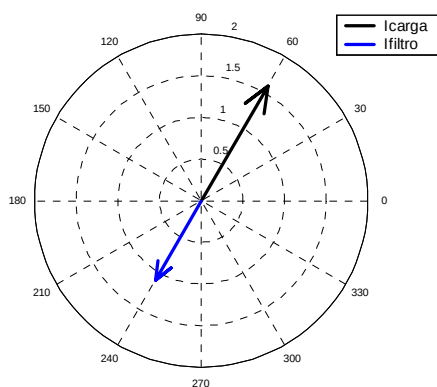


Linha C - filtro - computacional

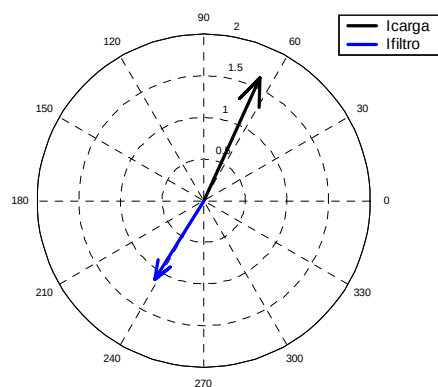
Figura 5.49 - Espectros harmônicos das correntes de linha no filtro - experimental e computacional - carga não-linear desequilibrada - filtro de seqüência positiva e negativa

(d) Síntese dos resultados

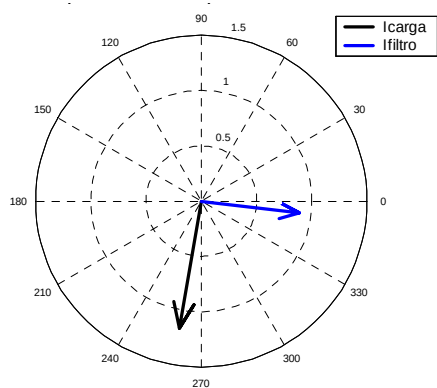
As figuras 5.50 e 5.51 apresentam os diagramas fasoriais das componentes de 5ª e 7ª ordens para a carga e filtro eletromagnético.



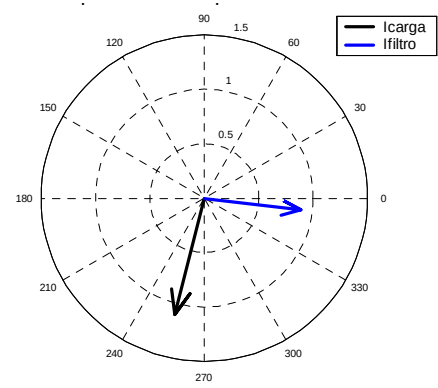
Linha A - experimental - 5ª ordem



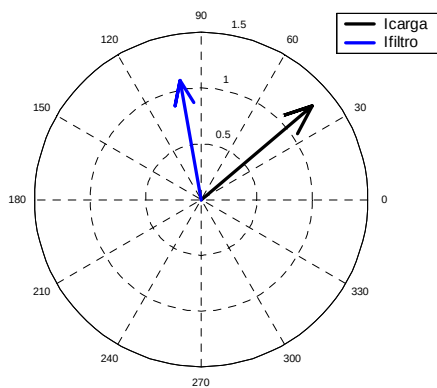
Linha A - computacional - 5ª ordem



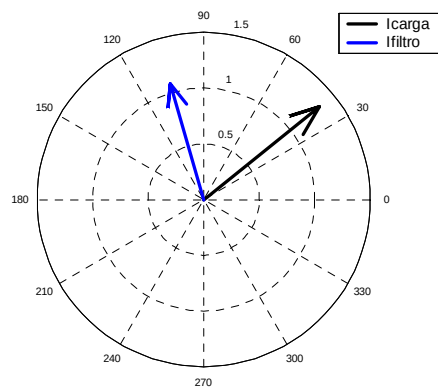
Linha B - experimental - 5ª ordem



Linha B - computacional - 5ª ordem

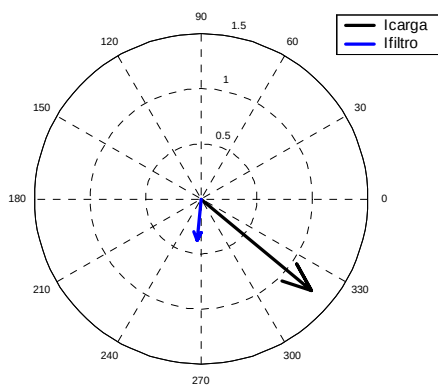


Linha C - experimental - 5ª ordem

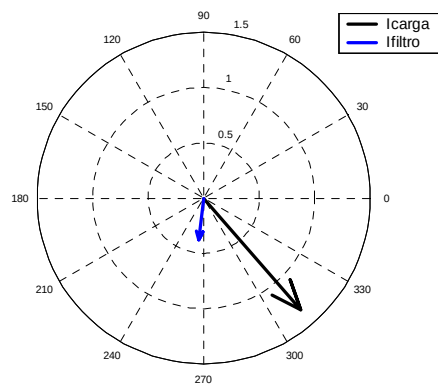


Linha C - computacional - 5ª ordem

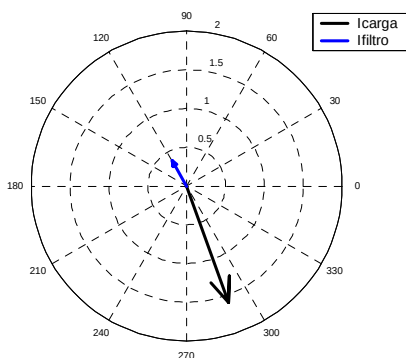
Figura 5.50 - Diagramas fasoriais das correntes de linha na carga e no filtro - experimental e computacional - carga não-linear desequilibrada - 5ª ordem - filtro de sequência positiva e negativa



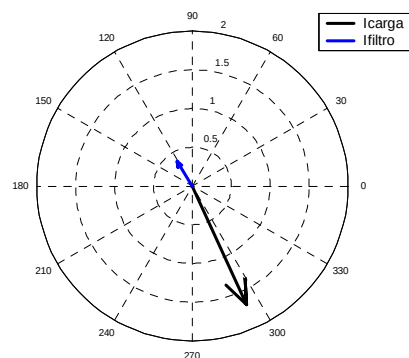
Linha A - experimental - 7ª ordem



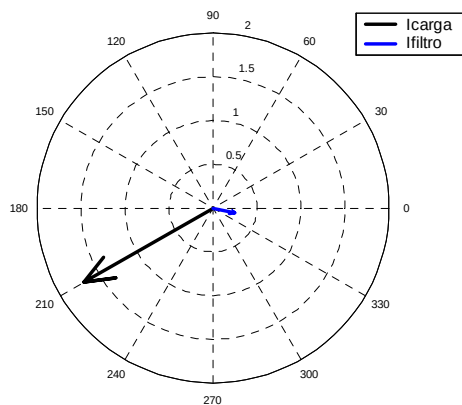
Linha A - computacional - 7ª ordem



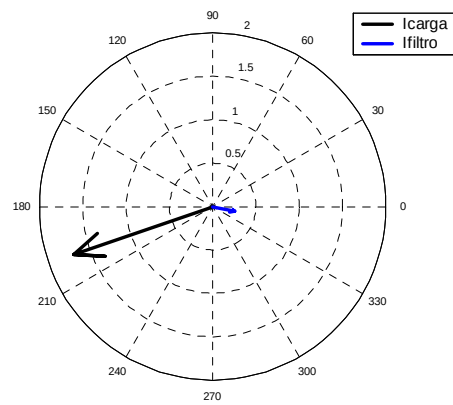
Linha B - experimental - 7ª ordem



Linha B - computacional - 7ª ordem



Linha C - experimental - 7ª ordem



Linha C - computacional - 7ª ordem

Figura 5.51 - Diagramas fasoriais das correntes de linha na carga e no filtro - experimental e computacional - carga não-linear desequilibrada - 7ª ordem - filtro de sequência positiva e negativa

Os diagramas evidenciam que a operação da carga não-linear, de forma desequilibrada, tal como especificada, apresenta-se com um conteúdo harmônico de 5ª e 7ª ordens com valores bastante distintos daqueles observados quando da carga equilibrada. Esta situação é

decisiva para prejudicar o processo de filtragem destas componentes harmônicas. Neste sentido, fica constatado que o conhecimento das condições operativas do filtro sob a ação de uma carga desequilibrada também se constitui em fator relevante e que afeta substancialmente a eficácia desta metodologia de filtragem.

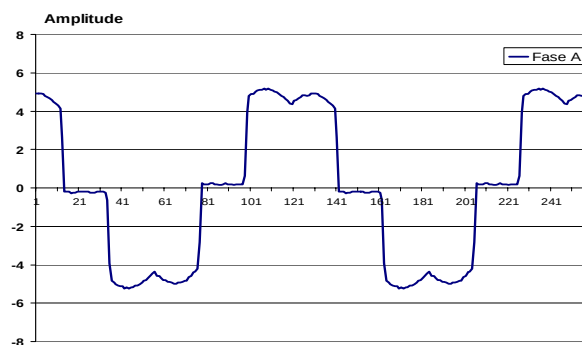
Caso b-4 - Exclusão dos resistores defasadores

Para fins da avaliação da importância dos resistores defasadores no processo da compensação aqui considerada, esta seção encontra-se direcionada aos estudos avaliativos do desempenho do filtro sob condições extremas em que as mencionadas resistências foram totalmente eliminadas do circuito.

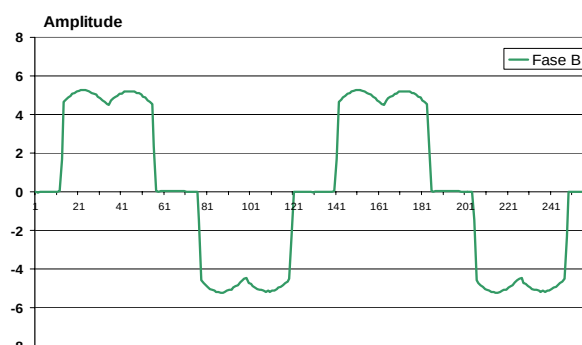
Dentro do exposto, mantendo-se as condições operacionais estabelecidas no processo de validação do capítulo anterior, e promovendo-se, desta vez, a anulação dos resistores conectados em série com o filtro, obteve-se, para os estudos computacionais e experimentais, os resultados constantes nas figuras 5.52-5.59.

(a) Corrente na carga não-linear

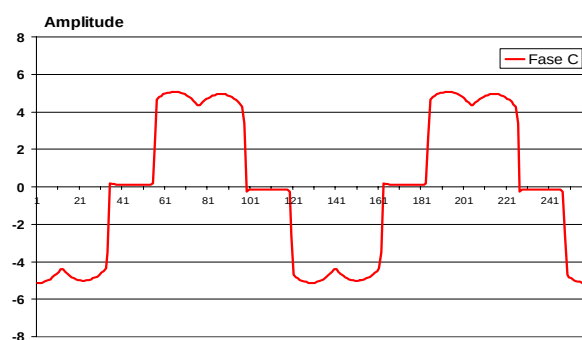
A figura 5.52 apresenta, respectivamente, as correntes de linha A, B e C obtidas na carga não-linear.



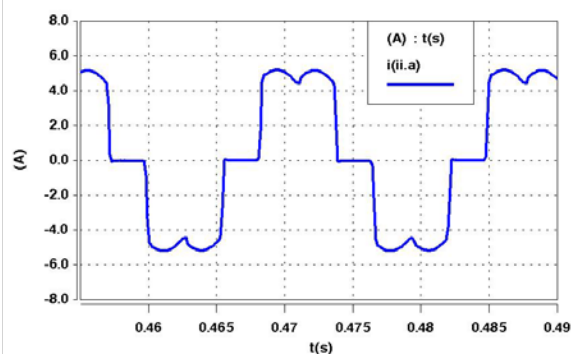
Linha A - carga não-linear - experimental



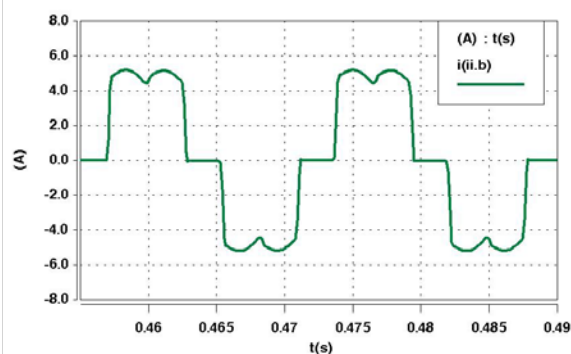
Linha B - carga não-linear - experimental



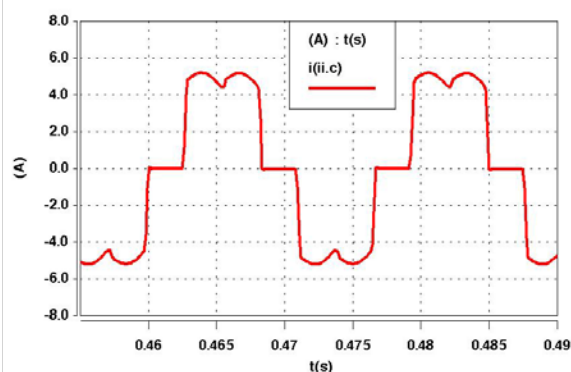
Linha C - carga não-linear - experimental



Linha A - carga não-linear - computacional



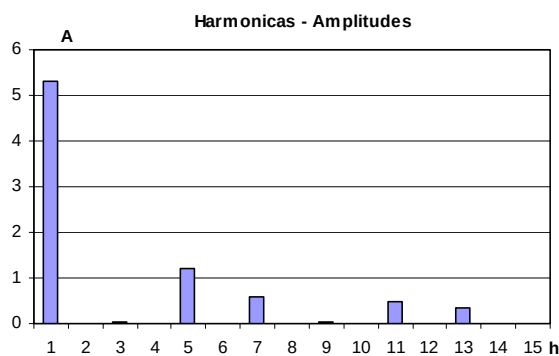
Linha B - carga não-linear - computacional



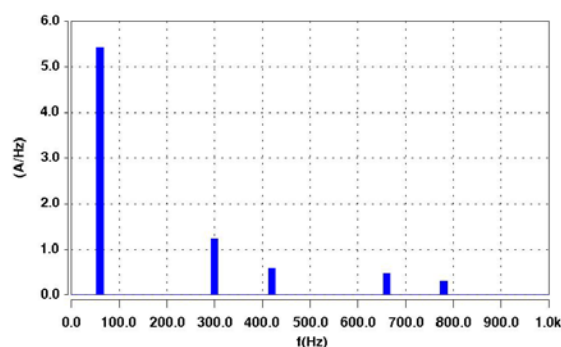
Linha C - carga não-linear - computacional

Figura 5.52 - Formas de onda das correntes de linha na carga não-linear - experimental e computacional - resistores defasadores nulos - filtro de seqüência positiva e negativa

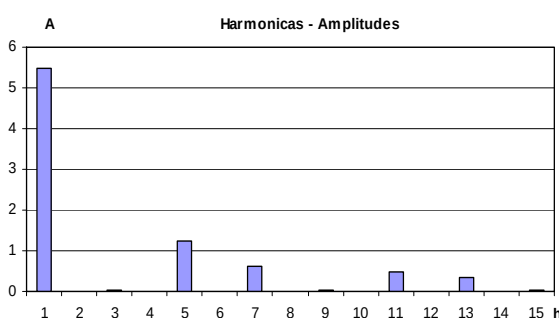
A figura 5.53 fornece os correspondentes espectros de frequência para as correntes anteriores.



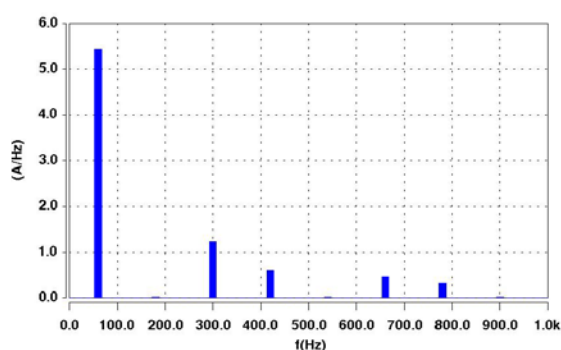
Linha A - carga não-linear - experimental



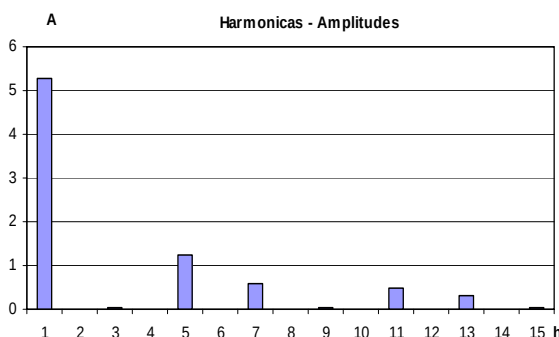
Linha A - carga não-linear - computacional



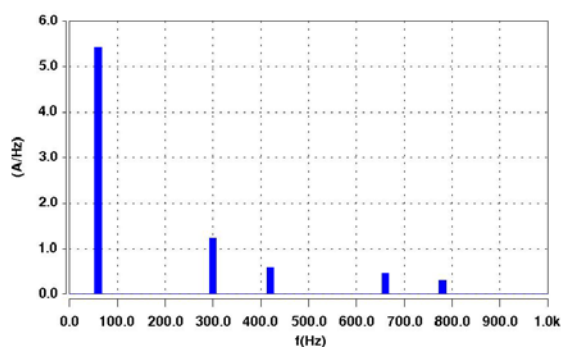
Linha B - carga não-linear - experimental



Linha B - carga não-linear - computacional



Linha C - carga não-linear - experimental

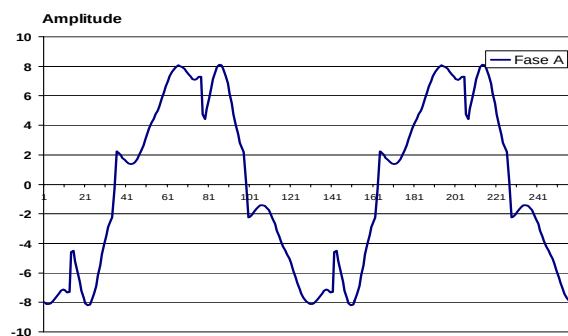


Linha C - carga não-linear - computacional

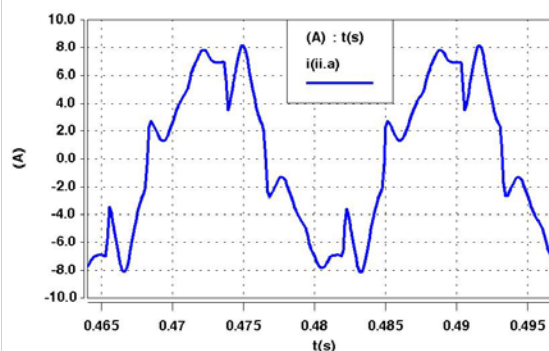
Figura 5.53 - Espectros harmônicos das correntes na carga não-linear - experimental e computacional - resistores defasadores nulos - filtro de seqüência positiva e negativa

(b) Corrente de linha do alimentador

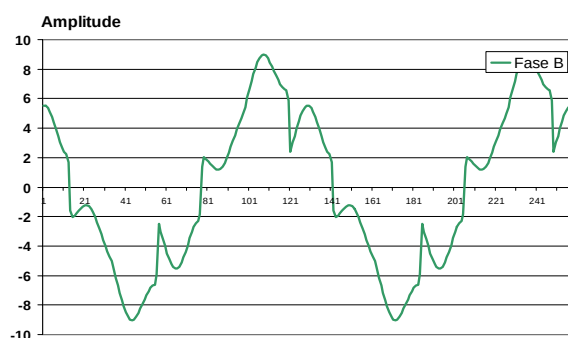
A figura 5.54 mostra, respectivamente, as correntes experimentais e computacionais para as linhas A, B e C do alimentador.



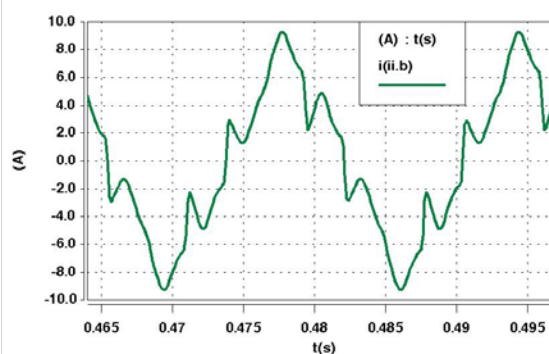
Linha A - alimentador - experimental



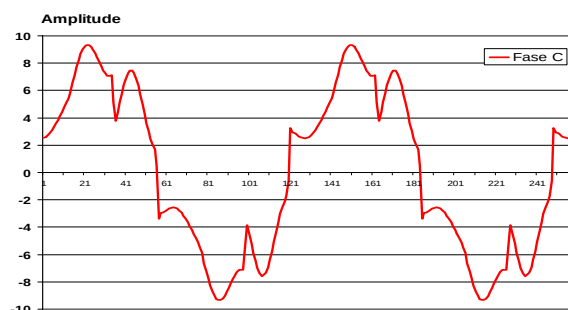
Linha A - alimentador - computacional



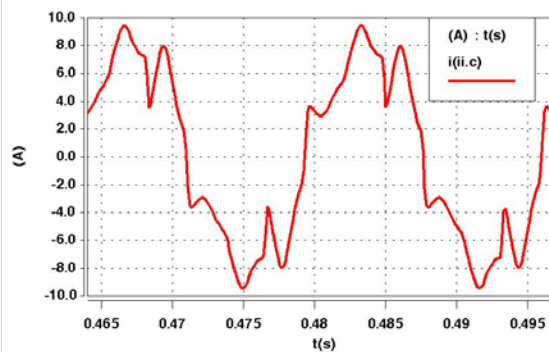
Linha B - alimentador - experimental



Linha B - alimentador - computacional



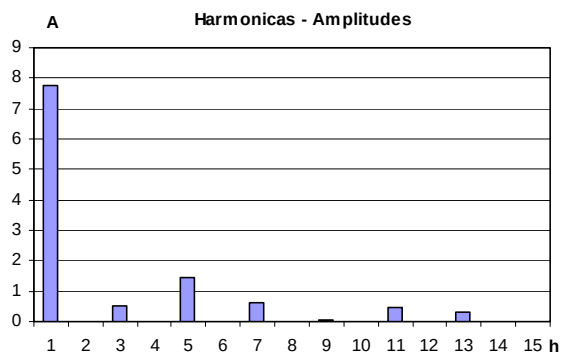
Linha C - alimentador - experimental



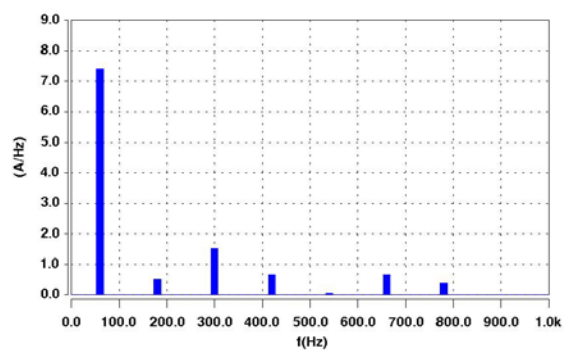
Linha C - alimentador - computacional

**Figura 5.54 - Formas de onda das correntes de linha no alimentador - experimental e computacional
- resistores defasadores nulos - filtro de sequência positiva e negativa**

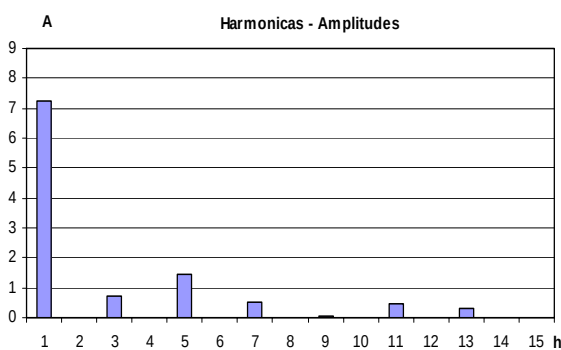
De modo análogo aos casos anteriores, a figura 5.55 é indicativa dos espectros harmônicos das correntes na alimentação.



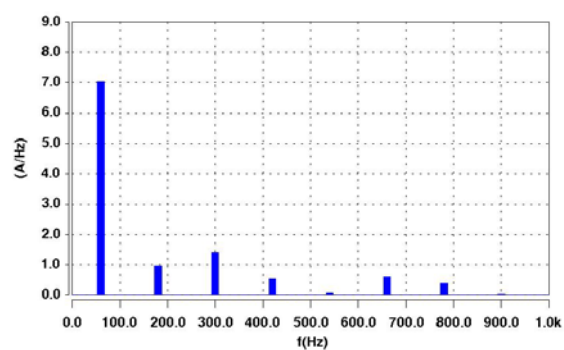
Linha A - alimentador - experimental



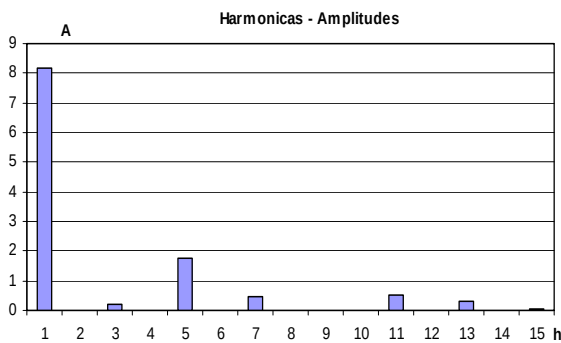
Linha A - alimentador - computacional



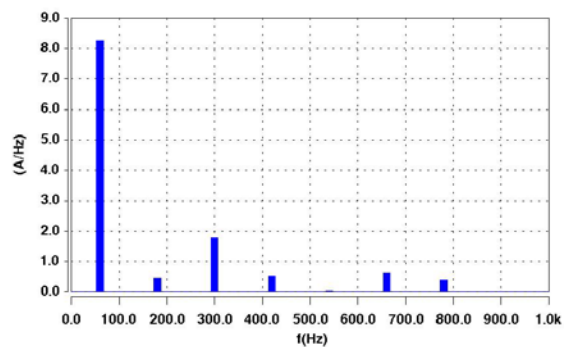
Linha B - alimentador - experimental



Linha B - alimentador - computacional



Linha C - alimentador - experimental

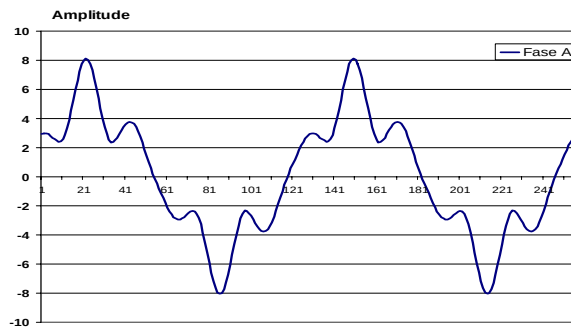


Linha C - alimentador - computacional

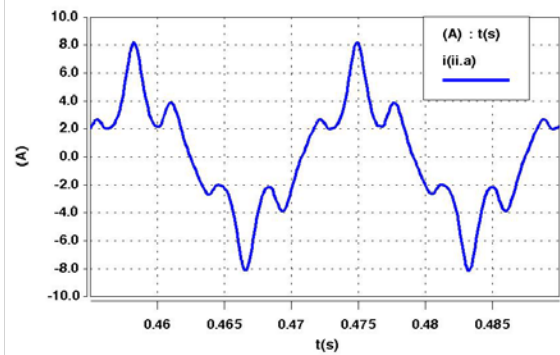
Figura 5.55 - Espectros harmônicos das correntes de linha no alimentador - experimental e computacional - resistores defasadores nulos - filtro de seqüência positiva e negativa

(c) Corrente de linha no filtro de seqüência positiva e negativa

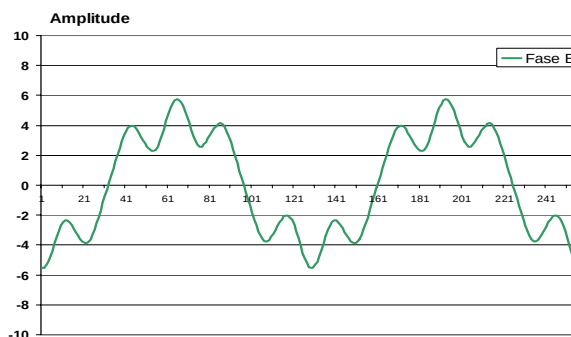
Por fim, a figura 5.56 fornece, respectivamente, as correntes de linha A, B e C do filtro eletromagnético.



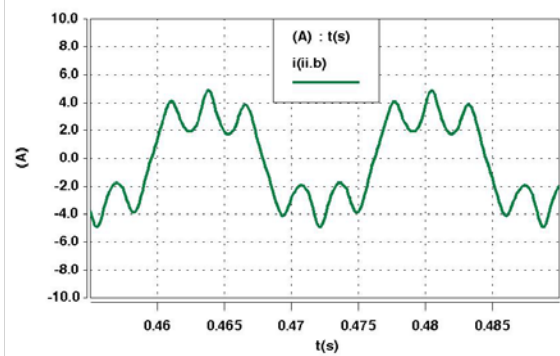
Linha A - filtro - experimental



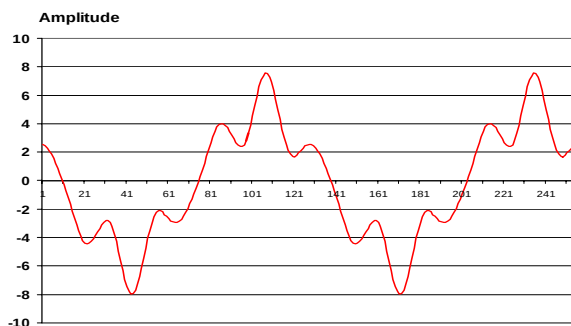
Linha A - filtro - computacional



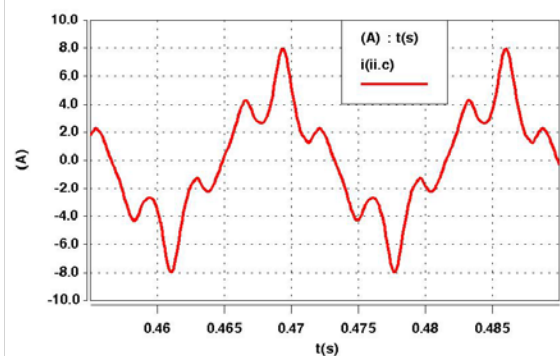
Linha B - filtro - experimental



Linha B - filtro - computacional



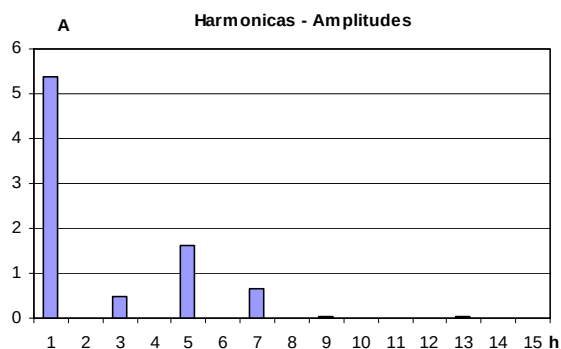
Linha C - filtro - experimental



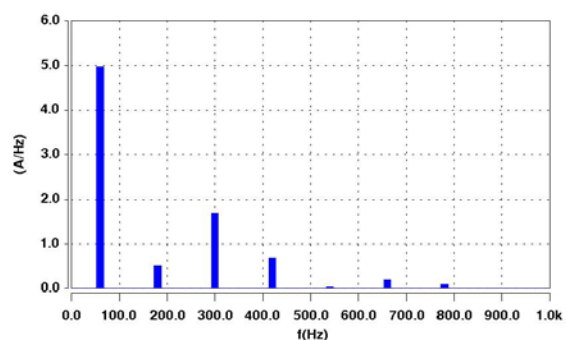
Linha C - filtro - computacional

Figura 5.56 - Formas de onda das correntes de linha no filtro - experimental e computacional - resistores defasadores nulos - filtro de sequência positiva e negativa

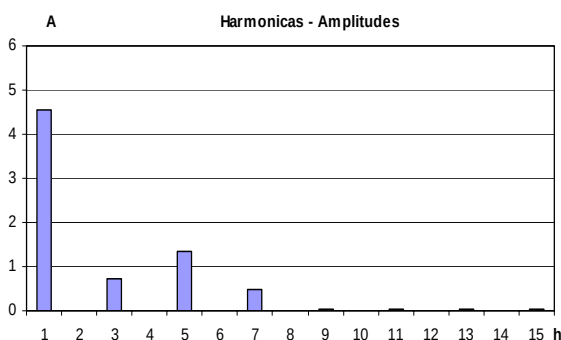
A figura 5.57 indica os correspondentes espectros harmônicos.



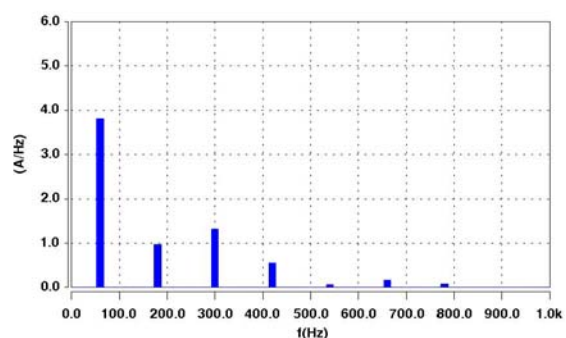
Linha A - filtro - experimental



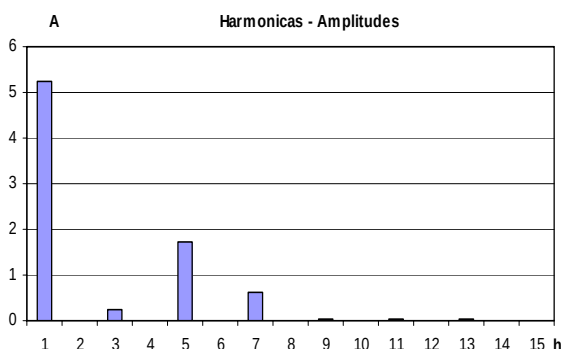
Linha A - filtro - computacional



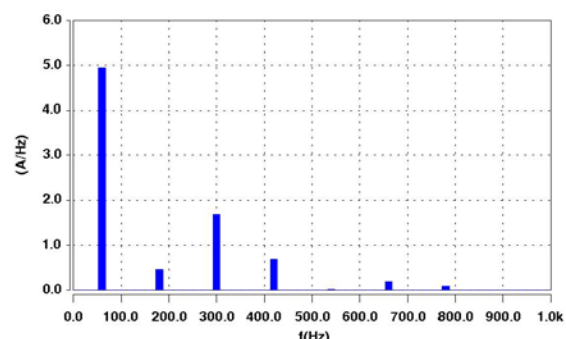
Linha B - filtro - experimental



Linha B - filtro - computacional



Linha C - filtro - experimental

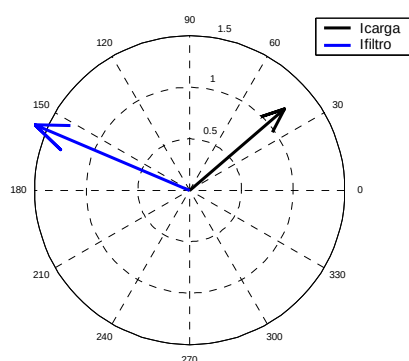


Linha C - filtro - computacional

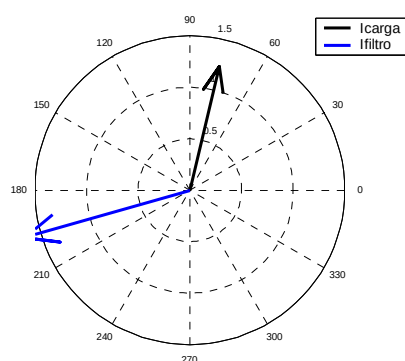
Figura 5.57 - Espectros harmônicos das correntes de linha no filtro - experimental e computacional - resistores defasadores nulos - filtro de seqüência positiva e negativa

(d) Síntese dos resultados

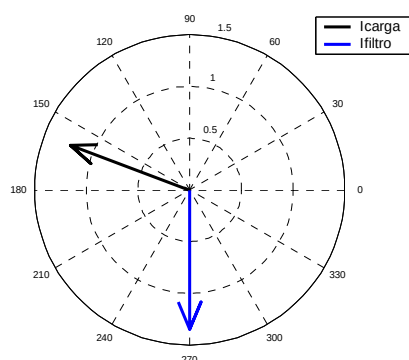
Tal como para os casos anteriores, as figuras 5.58 e 5.59 apresentam os diagramas fasoriais para as correntes de 5ª e 7ª ordens da carga não-linear e filtro.



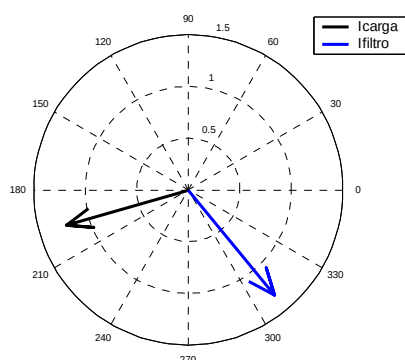
Linha A - experimental - 5ª ordem



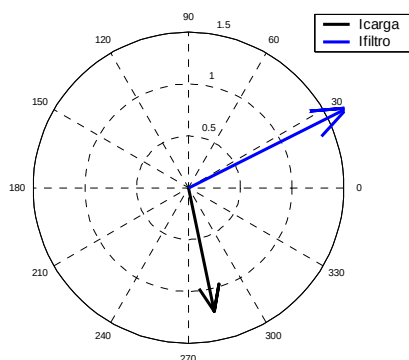
Linha A - computacional - 5ª ordem



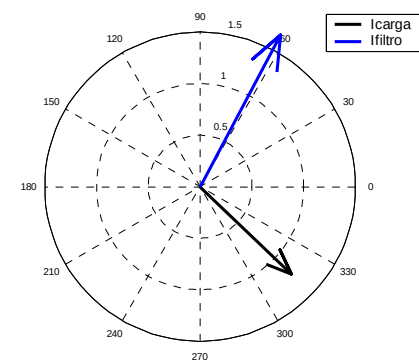
Linha B - experimental - 5ª ordem



Linha B - computacional - 5ª ordem

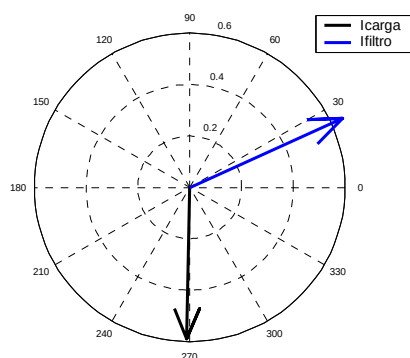


Linha C - experimental - 5ª ordem

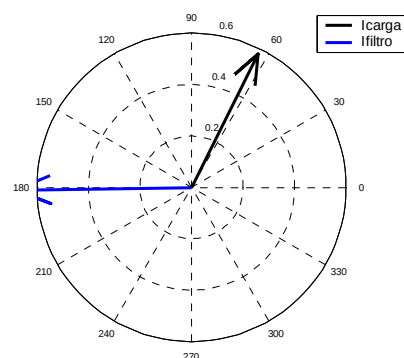


Linha C - computacional - 5ª ordem

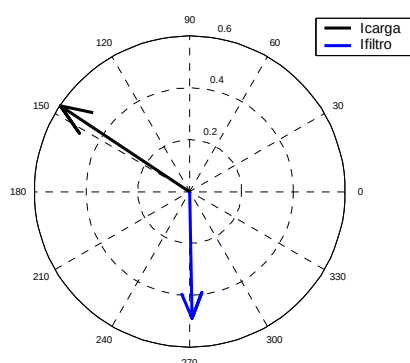
Figura 5.58 - Diagramas fasoriais das correntes de linha na carga e no filtro - experimental e computacional - resistores defasadores nulos - 5ª ordem - filtro de sequência positiva e negativa



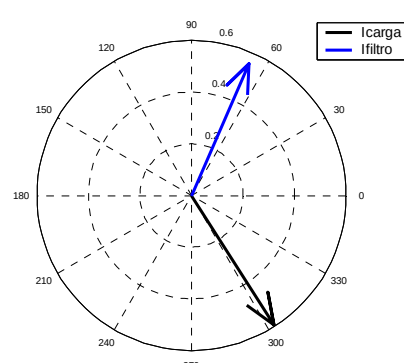
Linha A - experimental - 7ª ordem



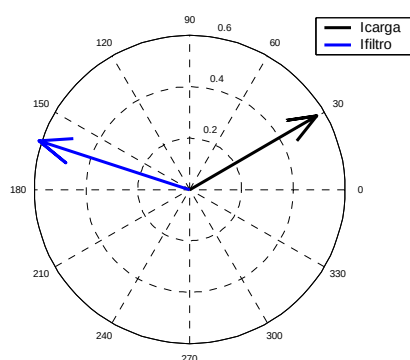
Linha A - computacional - 7ª ordem



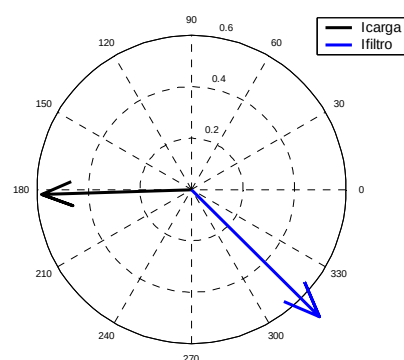
Linha B - experimental - 7ª ordem



Linha B - computacional - 7ª ordem



Linha C - experimental - 7ª ordem



Linha C - computacional - 7ª ordem

Figura 5.59 - Diagramas fasoriais das correntes de linha na carga e no filtro - experimental e computacional - resistores defasadores nulos - 7ª ordem - filtro de sequência positiva e negativa

Os resultados evidenciam maiores correntes de 5ª e 7ª ordens geradas pelo filtro eletromagnético, em virtude de uma saturação mais acentuada no mesmo. Outro aspecto interessante a ser observado refere-se aos ângulos de fase destes fasores, que perdem sua propriedade de compensação através de um processo de rotação que os afasta da oposição de

fases almejada. Novamente, as análises se tornam mais claras quando da inspeção dos diagramas das figuras 4.25 e 4.26.

5.3 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo, centrado nos fatores de influência nos desempenhos dos produtos propostos nesta pesquisa, contemplou os seguintes pontos:

- Caracterização dos casos considerados nas investigações computacionais e experimentais, os quais contemplam os desvios das condições ideais mais comumente detectados nas redes e equipamentos elétricos. A seleção das situações investigadas fundamentou-se na avaliação do desempenho dos filtros sob a ação de situações práticas frequentemente encontradas nas redes elétricas;
- Apresentação e discussão dos resultados experimentais e computacionais para as correntes de linha para as distintas partes que perfazem o complexo elétrico investigado. Nestes termos, além dos esclarecimentos associados com os níveis de interferência que os desvios produzem nos filtros, fica também estabelecido um procedimento complementar para o processo de validação dos modelos estabelecidos.

Dentro do exposto, segue que o presente capítulo ofereceu as seguintes contribuições:

- Avaliação dos fatores de influência no desempenho dos filtros eletromagnéticos de sequência zero e de sequência positiva e negativa, sob condições operacionais não-ideais, abordando alterações no sistema de suprimento, na carga não-linear e, por fim, nos filtros sob enfoque. Os estudos contemplaram ensaios laboratoriais e

simulações computacionais e almejaram esclarecer sobre a necessidade de medidas orientativas para os projetos dos produtos aqui focados, em particular no que tange às questões de aquecimento para o filtro de sequência zero;

- Estabelecimento de termos comparativos entre os desempenhos dos modelos computacionais frente aos experimentais, proporcionando, assim, um mecanismo complementar para a validação das propostas feitas nesta pesquisa;
- Evidenciar que algumas situações não-ideais de funcionamento podem fortemente comprometer a eficiência do processo aqui investigado.

CAPÍTULO VI

CONCLUSÕES FINAIS

Embora cada capítulo tenha apresentado suas conclusões e comentários específicos sobre os assuntos enfocados, considera-se, neste momento, fundamental uma abordagem global dos trabalhos desenvolvidos e resultados atingidos. Isto proporciona uma visão ampla, rápida e sucinta das investigações como um todo.

Para tanto, nesta etapa procede-se a uma consolidação das constatações parciais emitidas ao final de cada capítulo, somadas, ainda, a outros aspectos considerados relevantes para um melhor entendimento sobre as contribuições decorrentes da pesquisa. Focando, pois estas premissas:

- O capítulo I objetivou oferecer uma abordagem sobre a área da Qualidade da Energia Elétrica, com destaque às distorções harmônicas e os mecanismos voltados para a mitigação deste fenômeno. Neste contexto, procedeu-se uma revisão bibliográfica sobre o tema filtros harmônicos e, em especial, sobre os equipamentos destinados à filtragem através de dispositivos eletromagnéticos. Este trabalho culminou por evidenciar que o tema de concentração desta pesquisa e as lacunas ainda existentes neste tópico específico ofereceriam desafios atrativos e promissores para uma pesquisa no porte aqui desejada. Por fim, foram estabelecidos os objetivos gerais deste trabalho de doutorado e apresentada a estrutura geral da tese;

- A segunda unidade desta tese primou pela proposição dos princípios operacionais que nortearam o processo da compensação harmônica através de dispositivos eletromagnéticos. Além das concepções físicas, foram também estabelecidos os embasamentos matemáticos para os dois tipos de filtros harmônicos eletromagnéticos, visando posteriores modelagens e implementações computacionais. Neste particular, deve-se ressaltar que as propostas de modelagem consistiriam em contribuições originais e efetivamente apropriadas aos fins aqui almejados;
- Na continuidade, o capítulo III foi concentrado na identificação das unidades físicas constituintes dos filtros, escolha da metodologia mais apropriada para fins da modelagem computacional dos dispositivos e as respectivas implementações na base computacional selecionada. A opção final recaiu na representação dos equipamentos na forma de relutâncias magnéticas e forças magnetomotrizes nos termos determinados pelo programa utilizado. Diante dos modelos implementados, partiu-se para a avaliação da eficácia da modelagem e uma primeira verificação da operacionalidade dos filtros propostos no que tange à compensação das componentes harmônicas a que se destinam. Os resultados obtidos foram encorajadores no sentido de mostrar a factibilidade operacional das propostas para fins da compensação de harmônicos, nos termos desejados;
- O capítulo IV foi centrado no processo da validação dos modelos computacionais dos filtros eletromagnéticos de sequência zero e de sequência positiva e negativa, sob condições operacionais consideradas ideais, ou seja: fonte de tensão senoidal e equilibrada, carga não-linear equilibrada, parâmetros de rede equilibrados e filtros com parâmetros apropriados à compensação harmônica. Os estudos computacionais,

comparados aos respectivos resultados laboratoriais, constituíram-se na base do processo utilizado, ratificando, assim, a eficácia da metodologia proposta para o processo de filtragem fundamentada em dispositivos eletromagnéticos. Ao término desta etapa ficou constatada uma boa correlação entre os desempenhos dos modelos experimentais e computacionais. Isto orienta para o fato que a pesquisa não apenas abriu horizontes para uma nova abordagem ao processo da filtragem via dispositivos eletromagnéticos, mas também viabilizou uma ferramenta computacional eficiente para fins de dimensionamento, análise de desempenho e outras aplicações.

- Tendo em vista que as redes elétricas reais possuem, inevitavelmente, desvios dos padrões ideais acima utilizados para as tensões trifásicas de suprimento, o capítulo V concentrou-se na avaliação dos fatores de influência no desempenho dos filtros eletromagnéticos sob enfoque. Desta forma, um conjunto de situações operacionais não-ideais, abordando alterações no sistema de suprimento, na carga não-linear e, por fim, no filtro sob enfoque (filtro de sequência zero) foram consideradas e investigadas. Os estudos contemplaram ensaios laboratoriais e simulações computacionais. Os resultados evidenciaram que, sob tais condições de funcionamento, os filtros podem apresentar expressivas perdas de eficiência. Por tais motivos torna-se essencial que a aplicação dos dispositivos aqui investigados seja sempre precedida de estudos avaliativos para se evitar, por exemplo, aquecimentos excessivos e queda da eficiência acima de níveis permitidos.

Sintetizando, a pesquisa demonstrou a exequibilidade da utilização de dispositivos eletromagnéticos para fins da atenuação das distorções harmônicas. Esta filosofia de filtragem, embora já destacada por alguns autores através de outros arranjos que os aqui investigados, constitui-se numa estratégia simples, eficiente e de baixo custo. A favor desta

tecnologia pesa ainda a questão da nacionalidade do produto, o qual poderá ser, eventualmente, produzido por qualquer fabricante envolvido com transformadores ou reatores. A matéria prima também é 100% nacional, assim como também a propriedade da pesquisa. Como aspectos negativos destacam-se os pontos explorados no capítulo V, onde se constatou que, sob certas condições operacionais, os produtos investigados sofrem perda de eficiência. De um modo geral, tais situações ocorreram mais pronunciadamente para o filtro de harmônicos de sequência positiva e negativa.

Como comentário final fica esclarecido que os trabalhos aqui documentados refletem um primeiro passo na direção do domínio desta tecnologia. Neste sentido, muito embora o reconhecimento dos expressivos avanços obtidos, apenas investigações complementares conduzirão a um aprimoramento e consolidação dos produtos focados nesta pesquisa, até sua disponibilização da forma de equipamentos comerciais. Para tanto, dentre outros aspectos não previstos nesta fase dos desenvolvimentos, reconhece-se a necessidade de maiores avanços quanto aos seguintes pontos:

- Domínio da técnica do projeto eletromagnético básico para fins construtivos e avaliações de desempenho de formas de montagem com vistas à otimização do processo de fabricação, minimização de dispersão, etc.;
- Estudos eletromagnéticos voltados para a identificação de campos magnéticos, dispersão e outros aspectos relevantes à área térmica via elementos finitos;
- Pesquisas relacionadas com um dispositivo bloqueador série para auxiliar o processo de filtragem quando do emprego do filtro de sequência zero;
- Investigações sobre mecanismos de controle do filtro eletromagnético de sequência positiva e negativa, de forma a acompanhar as alterações operacionais da rede e da carga;
- Análise de ruídos audíveis na operação de ambos os filtros eletromagnéticos;

- Investigações voltadas para o processo de otimização no que tange a redução da corrente fundamental absorvida pelos filtros de sequência positiva e negativa, objetivando, dentre outros fatores, as influências apontadas no texto.

CAPÍTULO VII

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DUGAN, R. C., MCGRANAGHAN, M. F., SANTOSO, S., BEATY, H. W., *Electrical power systems quality – 2nd ed.*, McGraw-Hill, New York, 2003.
- [2] KERCHNER, R. M., CORCORAN, G. F., *Circuitos de corrente alternada*, Tradução: Reynaldo Resende e Ruy Pinto da Silva Sieczkowski, 3^a ed., Porto Alegre-RS, 1977.
- [3] PAICE, D. A., “*Power electronic converter harmonics: multipulse methods for clean power*”, 1st Edition, IEEE Press, New York, 1996.
- [4] KIMBARK, E. W., “*Direct current transmission*”, New York: Wiley-Interscience, 1971.
- [5] UHLMANN, E., “*Power transmission by direct current*”, Ludvika Springer-Verlag, 1975.
- [6] ARRILLAGA, J., “*Harmonic elimination*”, in II International Conference on Harmonics in Power Systems Proceedings, September, Manchester, England, pp. 37-75, 1981.
- [7] STRATFORD, R. P., STEEPER, D. E., “*Reactive compensation and harmonic suppression for industrial power systems using thyristor converters*”, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-12, Nº. 3, pp. 232-254, May/June 1976
- [8] STRATFORD, R. P., “*Analysis and control of harmonic current in systems with static power converters*”, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-17, Nº. 1, pp. 71-81, Jan/Feb 1981.
- [9] ARRILLAGA, J., BRADLEY, P. S., BOGDER, P. S., “*Power systems harmonics*”, John Wiley and Sons, New York, 2003.
- [10] GONZÁLES, D. A., McCALL, J. C., “*Design of filters to reduce harmonic distortion in industrial power systems*”, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-23, Nº. 3, pp. 504-511, May/June 1987.

- [11] ALVES, A. C. B., “Análise de problemas e procedimentos na determinação de filtros harmônicos”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, 1991.
- [12] CZARNECKI, L. S., “*Harmonic blocking compensator: an alternative for improving power quality*,” in Proceedings of IEEE 6th International Conference Harmonics Power System, Bologna, Italy, pp. 283-288, Sept 1994.
- [13] CZARNECKI, L. S., TAN, O. T., “*Evaluation and reduction of harmonic distortion caused by solid state voltage controllers of induction motors*”, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 9, N°. 3, pp. 528-534, Sept 1994.
- [14] HSU, S.-M., CZARNECKI, L. S., “*Harmonic blocking compensator with adaptive minimization of reactive and unbalanced currents*”, IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Vol. 2, pp. 789-794, July 2000.
- [15] KEY, T., LAY, J-S., “*Analysis of harmonic mitigation methods for building wiring systems*”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 13, N°. 3, pp. 890-897, Aug. 1998.
- [16] KEY, T., LAY, J-S., “*Comparison of standards and power supply design options for limiting harmonic distortion in power systems*”, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 29, N° 4, pp. 688-695, July/Aug. 1993.
- [17] LAWRENCE, W. B., Michalik, G., Mielczarski, W. Szczepanik, J., “*Reduction of harmonic pollution in distribution networks*”, IEEE Catalogue N°. 95TH8130, pp. 198-202, 1995.
- [18] SWAMY, M. M., “*Harmonic reduction using broad band filters*”, GE Transmission, Distribution and Industrial Systems, New York, <www.GEIndustrial.com>, pp.1-21, 2006.
- [19] LEWIS, F. A., HOUDEK, J. A., “*Reactors provide a low-cost solution to inverter/driver power quality*”, <www.mtec corp.com/reactors.html>, pp. 1-4, 2006.
- [20] YACAMINI, R., OLIVEIRA, J. C., “*Harmonics in multiple converter systems: a generalized approach*”, IEE Proceedings, Vol. 127, Pt. B, N°. 2, pp. 96-106, March 1980.
- [21] LING, P. J. A., ELDRIDGE, C. J., “*Designing modern electrical systems with transformers that inherently reduce harmonic distortion in a pc-rich environment*”, PowerSmiths International Corporation, 416-439-1077, pp. 1-13, 2000.

- [22] SOUTO, O. C. N., “Contribuições à modelagem de cargas elétricas não lineares e propostas para a redução de harmônicos”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, 1995.
- [23] FERGUSON, G. N. C., TECH, B., “*Power quality improvement in a harmonic environment*”, International Electrical Testing Association (NETA) Annual Technical Conference, pp. 1-9, March 1997.
- [24] KHERA, P. P., “*Application of zigzag transformers for reducing harmonics in the neutral conductor of low voltage distribution system*”, in Proceedings IEEE IAS, Vol. 2, pp. 1092-1096, 1990.
- [25] CHOI, S., ENJETI, P. N., PITEL, J., “*Polyphase transformer arrangements with reduced kva capacities for harmonic current reduction in rectifier type utility interface*”, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 11, Nº. 5, pp. 680-690, Sept. 1996.
- [26] SASAKI, H., MACHIDA, T., “*A new method to eliminate ac harmonic currents by magnetic flux compensation - considerations on basic design*”, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-90, Nº. 5, pp. 2009-2019, Sept/Oct 1971.
- [27] XIANGQIAN, T., JIN, X., XUEJUNYI, W. W., “*Active reactor based on harmonic magnetic flux compensation*”, Proceedings of the Eighth International Conference on Electrical Machines and Systems, ICEMS, Vol. 3, pp. 1750-1754, Sept. 2005.
- [28] SAMRA, A. H., TESHOME, A., “*Current injection method to eliminate harmonics in ac power systems*”, Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference, pp: 85-91, May 1993.
- [29] SINGH, B.; BHUVANESWARI, G.; GARG, V., “*Harmonic current injection for varying rectifier loads*”, IEEE INDICON, pp.143-147, Dec. 2005
- [30] AMETANI, A., “*Harmonic reduction in thyristor converts by harmonic current injection*”, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-95, Nº. 2, pp. 441-449, March/April 1976.
- [31] RASTOGI, M., NAIK, R., MOHAN N., “*Optimization of a novel dc link current modulated interface with 3-phase utility systems to minimize line current harmonics*”, IEEE PESC, pp. 162-167, 1992.
- [32] SENSARMA, P. S., PADIYAR, K. R., RAMANARAYANAN, V., “*A comparative study of harmonic filtering strategies for a shunt active filter*”, Industry Applications Conference, Vol. 4, pp. 2509-2516, 2000.

- [33] AKAGI, H.; “*Active harmonic filters*”, Proceedings of the IEEE, Vol. 93, Nº 12, pp. 2128-2141, Dec. 2005.
- [34] DEPENDBROCK, M., “*The FBD-method, a generally applicable tool for analysing power relations*”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 8, Nº. 2, pp. 381-387, May 1993.
- [35] AKAGI, H., KANAZAWA, Y., NABAE, A., “*Instantaneous reactive power compensator comprising switching devices without energy storage components*”, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-20, Nº. 3, pp. 625-630, May/June 1984.
- [36] AKAGI, H., NABAE, A., ATOH, S., “*Control strategy of active power filter using multiple voltage source pwm converters*”, IEEE Transactions on Industry Applications., Vol. IA-22, Nº. 3, May/June 1986.
- [37] PENG, F. Z., AKAGI, H., NABAE, A., “*A study of active power filters using quad-series voltage-source pwm converters for harmonic compensation*”, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 5, Nº. 1, pp. 9-15, Jan. 1990.
- [38] AKAGI, H., “*New trends in active filters for power conditioning*”, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 32, Nº. 6, pp. 1311-1322, Nov./Dec. 1996.
- [39] PENG, F. Z., AKAGI, H., NABAE, A., “*A new approach to harmonic compensation in power systems*”, IEEE/IAS Annual Meeting Conference, pp. 874-880, 1988.
- [40] PENG, F. Z., KOHATA, M., AKAGI, H., “*Compensation characteristics of the combined system of shunt passive and series active filters*”, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 29, Nº.1, pp. 144-152, Jan/Feb. 1993.
- [41] PENG, F. Z., AKAGI, H., NABAE, A., “*A new approach to harmonic compensation in power systems - a combined system of shunt passive and series active filters*”, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 26, Nº. 6, pp. 983-990, Nov./Dec.1990.
- [42] AREDES, M., WATANABE, E. H., “*Power quality considerations on shunt/series current and voltage conditioners*”, 10th IEEE International Conference on Harmonics and Quality of Power, Vol. 2, pp. 595-600, 2002
- [43] AREDES, M., “*Active power line conditioners*”, Dr.-Ing. Thesis, Technische Universität Berlin, 1996.

- [44] AREDES, M., HEUMANN, K., WATANABE, E. H., “*An universal active power line conditioner*”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 13, Nº. 2, pp. 545-551, April 1998.
- [45] RATANAPANACHOTE, S., ENJETI, P. N., KANG, M., “*Auto-connected electronic phase-shifting transformer concept for reducing harmonic generated by nonlinear loads in electric power distribution system*”, IEEE Power Electronics Specialists Conference, pp. 1030-1035, 2001.
- [46] FERREIRA, J. F. V., “Uma nova abordagem à filtragem de harmônicos de sequência zero através de dispositivos eletromagnéticos”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, 2006.
- [47] DAHONO, P. A., WIDJAYA, R. E., SYAFRUDIN, QAMARUZZAMAN, “*A practical approach to minimize the zero-sequence current harmonics in power distribution systems*”, in IEEE Proceedings Power Conversion Conference, Vol. 2, pp. 683–686, Aug. 1997.
- [48] BELCHIOR, F. N., FERREIRA, J. F. V., OLIVEIRA, J. C., APOLONIO, R., VASCONCELLOS, A. B., “*Unified zero sequence electromagnetic filter*”, Proceedings on 8th IASTED International Conference on Power and Energy Systems, pp. 13-18, Oct. 2005.
- [49] JOU, H-L., WU, J-C., WU, K-D., CHIANG, W-J., CHEN, Y-H., “*Analysis of zig-zag transformer applying in the three-phase four-wire distribution power system*”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 20, Nº. 2, pp. 1168-1173, April 2005.
- [50] KIM, S. S., ENJETI, P. N., PITEL I, J., “*A new approach to improve power factor and reduce harmonics in a three-phase diode rectifier type utility interface*”, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 30, Nº. 6, pp 1557-1564, 1994.
- [51] MEZA, J. C., SAMRA, A. H., “*A new technique to reduce line-current harmonics generated by a three-phase bridge rectifier*”, Proceedings Southeast on IEEE, pp 354-359, 1998.
- [52] VASCONCELLOS, A. B., Modelagem e análise de desempenho de compensadores estáticos a reator à núcleo saturado no contexto da qualidade da energia, Uberlândia: UFU, 2004 (Tese, Doutorado em Engenharia Elétrica).
- [53] APOLÔNIO, R., Modelagem e chaveamento controlado de transformadores: análise computacional e validação experimental, Uberlândia: UFU, 2004 (Tese, Doutorado em Engenharia Elétrica).

- [54] FUCHS, E. F., YOU, Y., “*Measurement of λ -i characteristics of asymmetric three-phase transformers and their applications*”, Proceedings on 9th International Conference on Harmonics and Quality of Power, Vol. 1, pp. 91-96, Oct. 2000.
- [55] APOLÔNIO, R., OLIVEIRA, J. C., VASCONCELLOS, A. B., OLIVEIRA, A., SOUTO, O. C. N., “*Filtro eletromagnético para harmônicos de seqüência zero*”, V Seminário Brasileiro sobre Qualidade da Energia Elétrica, Agosto 2003.
- [56] ONS – OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, “Submódulo 2.2 - Padrões de Desempenho da Rede Básica”, Dezembro 2002.
- [57] ABREU, J. P. G.; EMANUEL, A.E., “Induction motor thermal aging caused by voltage distortion and imbalance: loss of useful life and its estimated cost”, IEEE Transactions Industry Applications, Vol. 38, Nº 1, pp.12-20, Jan. 2002.