

MODELAGEM DE CABOS ELÉTRICOS PARA ESTUDOS DE ALTA FREQUÊNCIA: AVALIAÇÃO DO MODELO “N-RAMOS”

HÉLDER DE PAULA

*Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia
Av. João Naves de Ávila, 2121 - Bloco 1E - Santa Mônica, Uberlândia - MG, 38400-902
drhelderdepaula@gmail.com*

RUDÁ A. C. FIGUEIREDO, WARLEY L. DE SOUZA, PHILIPPE C. T. PEREIRA

*Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais
Avenida Presidente Antônio Carlos, 6627 – Pampulha, Belo Horizonte – MG, 31270-901
rudaac@gmail.com*

LEONARDO A. R. DA SILVA

*Depto. de Engenharia de Telecomunicações e Mecatrônica, Universidade Federal de São João Del Rei
Campus Alto Paraopeba – Ouro Branco – MG, 36415-000
Leo.adolpho@gmail.com*

Abstract– The study of high-frequency phenomena by means of computational simulations requires specific modelling of the electric equipment, for its accurate representation. With respect to electric cables, the models must, mandatorily, include the variation of its resistance and inductance due to skin and proximity effects. Among several modelling alternatives, the model so-called “N-Branches” has been successfully employed for this purpose. However, in spite of its wide use, the “N-Branches” performance has not been yet evaluated for a broad sort of applications, such as varied cable gauges, installation methods and geometric disposition, among others. In this context, the aim of this paper is to characterize the possible errors to be obtained when the “N-Branches” model is used to represent different cable types, in order to guide and inform the user about the expected model performance for each case.

Keywords– Cable modelling, high-frequency modelling, skin effect, proximity effect, electric cables.

Resumo— Para o estudo de fenômenos de alta frequência através de simulações computacionais, a representação dos equipamentos elétricos deve ser feita através de modelos específicos. No tocante a cabos elétricos, a modelagem deve, necessariamente, incluir a variação de sua resistência e indutância em função dos efeitos pelicular e proximidade. Dentre as várias alternativas possíveis, o modelo denominado “N-Ramos” vem sendo empregado com bastante êxito, para este propósito. Contudo, apesar de sua larga utilização, seu desempenho ainda não foi avaliado para uma grande gama de situações possíveis, como, por exemplo, para diferentes formas de instalação do cabo, bitolas e arranjo geométricos, dentre outras. Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho é o de caracterizar os erros que poderão ser obtidos ao se utilizar o modelo “N-Ramos” para a representação de diferentes tipos de cabo, de forma a orientar o usuário sobre qual desempenho pode ser esperado em cada aplicação.

Palavras-chave– Modelagem de cabos, modelagem para alta frequência, efeito pelicular, efeito proximidade, cabos elétricos.

1 Introdução

Em sistemas elétricos tanto de baixa como de alta tensão, problemas relacionados a harmônicos, transitórios eletromagnéticos, interferência /compatibilidade eletromagnética conduzida, dentre outros, podem ser avaliados com êxito através de simulações computacionais, desde que modelos apropriados a estudos de alta frequência sejam utilizados para representar os seus componentes.

No que diz respeito a cabos isolados, o ponto crucial é a correta representação dos efeitos pelicular e proximidade, no domínio do tempo, para frequências desde algumas poucas dezenas de Hz a até alguns MHz. Pode-se encontrar na literatura diversas alternativas de modelagem que se propõem a cumprir tal requisito, mas todas, de certa forma, apresentam alguma desvantagem, limitação ou inconveniente. Algumas delas são capazes de

representar corretamente a dependência dos parâmetros apenas em faixas de frequências mais reduzidas, de até algumas poucas dezenas de kHz (Vendrusculo et al, 1999, Lima et al, 2000); outras envolvem procedimentos matemáticos bastante complexos (Castellanos e Marti, 1997), sendo, portanto, de difícil compreensão para aqueles que não estão diretamente envolvidos com o tema específico de modelagens de cabos e linhas. Existem ainda propostas de modelos (Kunakorn et al, 2000) cujos parâmetros são calculados com base na tentativa e erro, que as tornam pouco práticas. Um modelo bastante eficiente foi apresentado por Moreira et al (2001), mas que requer o uso de equipamentos de medição que, na maioria das vezes, encontram-se indisponíveis ao engenheiro ou pesquisador.

Uma metodologia que tem sido amplamente empregada pelos autores, com sucesso, é aquela denominada “N-Ramos” (ou “N-Branches”, nas

publicações de língua inglesa), cujo método para o cálculo dos seus parâmetros foi proposto por Chaves et al (1997). Contudo, na época, a mesma era aplicada basicamente apenas em estudos de qualidade da energia elétrica, onde tipicamente se limita a máxima frequência em estudo até àquela correspondente à quinquagésima ordem harmônica. Todavia, a partir das análises realizadas em (Paula et al, 2008), a mesma passou a ser largamente aplicada, com êxito, em fenômenos de frequências bem mais elevadas, mais especificamente na investigação de problemas no âmbito da interferência eletromagnética conduzida, tanto em ambientes industriais, basicamente em sistemas de acionamento de motores (Paula et al, 2009), como em sistemas de geração de energia fotovoltaica (Irias et al, 2015, Pereira et al, 2015a, b, c).

Entretanto, ainda que o modelo “N-Ramos” venha sendo usado com sucesso, ainda não se fez uma caracterização mais ampla e rigorosa do comportamento do erro associado ao mesmo em função de aspectos como a seção transversal do cabo, arranjo, forma de instalação, presença (ou não) de blindagem, etc, de forma a já se conhecer, de antemão, qual a exatidão que pode ser esperada do modelo em cada caso ou aplicação. Nesse contexto, este trabalho apresenta um estudo onde o modelo “N-Ramos” é empregado em diferentes sistemas de cabeamento, de características diversas, sendo os erros correspondentes comparados e analisados, de forma a orientar o usuário sobre qual desempenho pode ser esperado do modelo em cada aplicação. Tal é a contribuição do presente trabalho.

2 O modelo “N-Ramos”: Uma Breve Descrição

Assumindo-se que um condutor possa ser considerado como uma associação em paralelo de infinitos subcondutores tubulares concêntricos (figura 1), de espessura infinitesimal, cada qual com seus respectivos valores de resistência e indutância, de tal forma a representar o efeito pelicular, e ainda considerando que a corrente em cada subcondutor não varie ao longo de sua trajetória, as expressões matemáticas da queda de tensão em cada subcondutor acoplado aos demais conduzem a um circuito equivalente com infinitos ramos, tal como demonstrado em (Chaves et al, 1997).

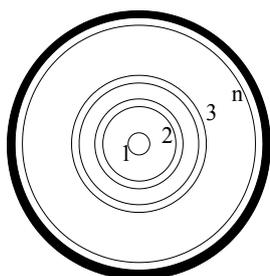


Figura 1. Seção transversal de um cabo subdividido em “n” condutores tubulares concêntricos.

Tal circuito é constituído de elementos resistivos e indutivos invariáveis com a frequência, os quais são convenientemente associados de tal forma que sua impedância equivalente representa a resistência e a indutância do condutor variáveis com a frequência, conforme ilustrado pela figura 2.

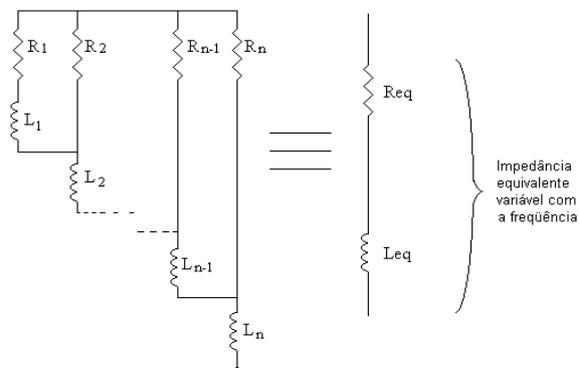


Figura 2. Circuito “N-Ramos” e sua impedância equivalente, variável com a frequência.

Para a representação exata da interdependência da resistência e indutância de um cabo elétrico com a frequência, seria necessário um circuito equivalente com um número infinito de ramos, o que é impraticável. Portanto, a ideia é utilizar esse modelo com um número finito de ramos para a representação do cabo, de tal forma que a resistência e a indutância de sua impedância equivalente, em uma determinada frequência, sejam aproximadamente iguais aos parâmetros resistivos e indutivos do cabo nessa mesma frequência.

Para a determinação dos parâmetros do circuito “N-Ramos”, são necessários, como dados de entrada, os valores da resistência e indutância do cabo em certas frequências, normalmente obtidas por formulações analíticas, como aquelas presentes nas rotinas “Cable Constants” de simuladores, como o ATP, ou então através de cálculos numéricos, utilizando-se a Análise por Elementos Finitos, como apresentado em (Souza et al, 2017). Nesse último caso, inclusive, o efeito proximidade é contabilizado, de forma que o modelo “N-Ramos” gerado com esses dados de entrada naturalmente passa a representar tal efeito. A partir dos mesmos, utiliza-se um procedimento iterativo, da forma descrita em (Chaves et al, 1997), obtendo-se então o modelo desejado. Posteriormente, para a aplicação do circuito “N-Ramos” em circuitos “pi” para a representação das impedâncias de sequência positiva e zero de um cabo (ou linha), emprega-se a metodologia proposta em (Paula et al, 2008), de forma que o circuito resultante, pronto para ser implementado em simuladores, é capaz de reproduzir a natureza distribuída dos parâmetros do cabo e também a sua variação com a frequência, no domínio do tempo.

3 Metodologia Empregada no Estudo

De forma a caracterizar o desempenho do modelo “N-Ramos” para tipos de cabo distintos (diferentes formas de instalação, seção transversal, arranjo, cabo com blindagem, etc), atingindo os objetivos deste trabalho, os seguintes passos foram seguidos:

1 – Determinação dos parâmetros do cabo através da Análise de Elementos Finitos (AEF): Uma vez que a elaboração do modelo “N-Ramos” requer o conhecimento dos parâmetros do cabo para certos valores de frequência, conforme já mencionado, a rotina desenvolvida em (Souza et al, 2017) foi empregada para gerar as matrizes de indutância e resistência do cabo nas frequências requeridas, para todos os tipos de cabo avaliados neste trabalho. Vale ressaltar que tal rotina, em seus cálculos, leva em consideração os efeitos pelicular e proximidade.

2 – Elaboração dos circuitos “N-Ramos” dos cabos analisados neste artigo, seguindo o procedimento descrito em (Chaves et al, 1997). A partir daí, os modelos representativos dos seus parâmetros de sequência positiva e zero foram gerados baseando-se no método descrito em (Paula et al, 2008). Vale destacar que a faixa de frequências definida para os modelos gerados foi de 60 Hz a 10 MHz.

3 – Dentro da faixa de frequências avaliada, os valores das resistências e indutâncias equivalentes do circuito “N-Ramos” foram comparados com os valores de referência, obtidos através da rotina proposta em (Souza et al, 2017). A diferença percentual entre ambos foi calculada em diferentes frequências, originando-se o gráfico representativo do erro percentual proveniente do modelo, em função da frequência. Isso foi feito para as resistências e indutâncias de sequência positivo e zero, para cada tipo de cabo utilizado.

4 – Por fim, através da observação criteriosa dos gráficos obtidos, foi realizada uma análise dos resultados, de forma a se avaliar o desempenho do modelo ao longo da faixa de frequência estudada, para os diferentes tipo de cabo avaliados.

2 Resultados Obtidos e Discussão

2.1. Avaliação do efeito da bitola dos cabos na exatidão do modelo

Neste item, a influência da bitola do cabo nos erros percentuais das resistências e indutâncias de sequência positiva e zero foi avaliada. Para isso, foram comparados cabos de 25 mm² e 150 mm² em diferentes situações, quais sejam:

A. Cabo em trifólio e instalado em eletrocalha, cujos resultados estão apresentados na figura 3;

B. Cabo em trifólio instalado diretamente sobre o solo, tendo como resultados aqueles ilustrados pela figura 4;

C. Cabos em arranjo planar, dispostos em eletrocalha – resultados exibidos na figura 5;

D. Cabos em arranjo planar, diretamente sobre o solo, cujos resultados são mostrados na figura 6;

E. Cabo tripolar blindado, instalado diretamente sobre o solo (figura 7);

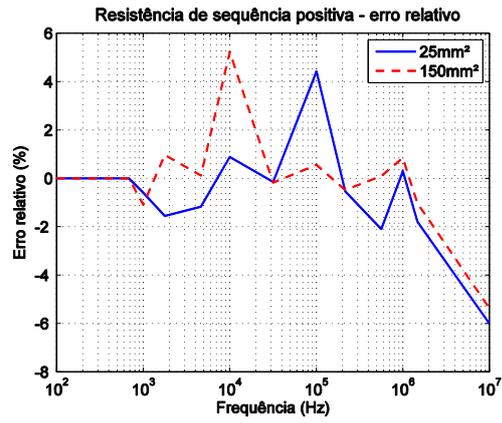
Na sequência, são apresentadas as curvas correspondentes a cada um dos casos supracitados.

A. Cabo em trifólio e instalado em eletrocalha

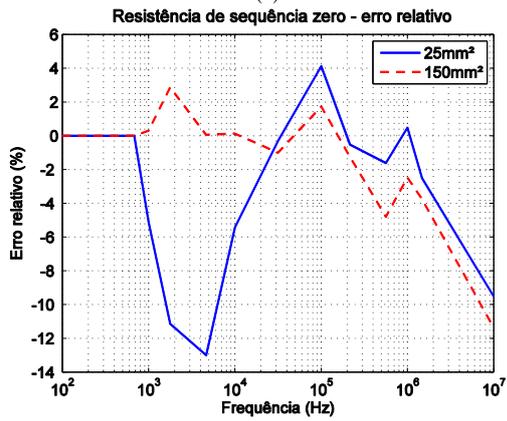
No caso dos cabos instalados em eletrocalha, pode ser observado que, independentemente da bitola considerada, o erro na resistência de sequência positiva dos cabos nunca ultrapassou 6%, tal como mostrado na figura 3(a), permanecendo inferior a 2% em grande parte da faixa considerada, que vai de 100 Hz a 10 MHz. Em outras palavras, tem-se que o modelo apresentou ótima exatidão e que seu desempenho não foi influenciado pela bitola do cabo. Por outro lado, no caso da resistência de sequência zero, a seção transversal do condutor impactou o comportamento do modelo, de forma que os erros associados ao cabo de 25 mm² foram substancialmente superiores aos do cabo de 150 mm², conforme ilustrado pela figura 3(b). Por fim, nota-se que o módulo do erro tende a aumentar bastante com a frequência, comportamento este que se torna bastante evidente a partir de 1 MHz.

No que tange a indutância de sequência positiva (figura 3(c)), observa-se que os erros são bastante pequenos, sendo inferiores a 1% em toda a faixa avaliada. Além disso, a influência da bitola do cabo neste parâmetro foi desprezível, uma vez que as curvas de erro para as duas seções analisadas foram semelhantes.

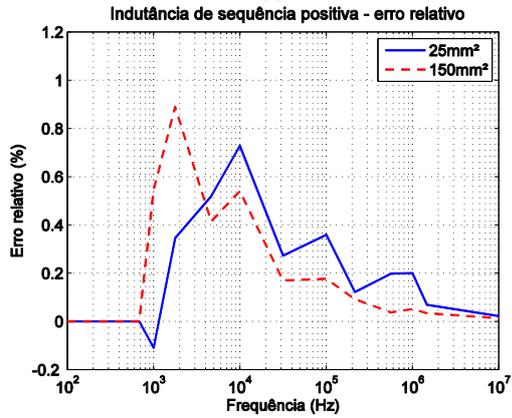
Tais afirmações são válidas também para a indutância de sequência zero (figura 3(d)), exceto para a faixa de frequências compreendida entre 700 Hz e 10 kHz, onde o erro apresentado pelo modelo, no caso do condutor de 25 mm², foi mais elevado, com valor máximo de 6 % entre 1 e 2 kHz. Ainda assim, tem-se que tal resultado pode ser considerado bastante satisfatório, principalmente quando se considera a extensão da faixa de frequências avaliada.



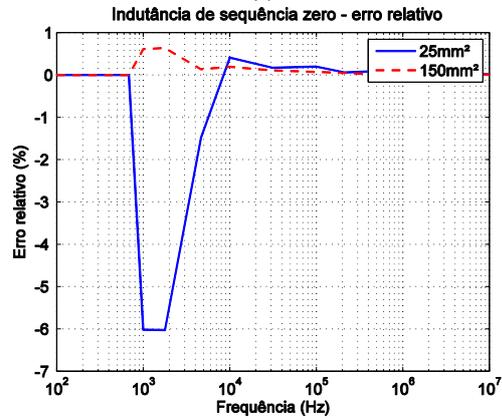
(a)



(b)



(c)



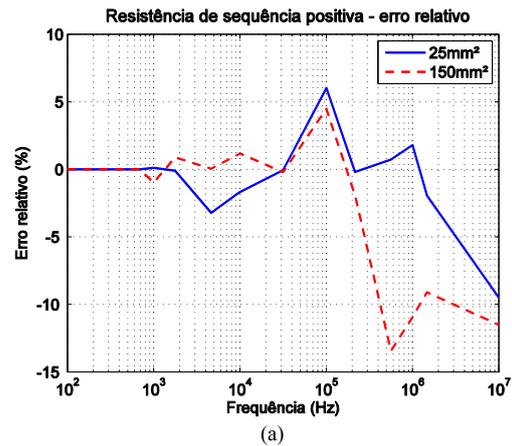
(d)

Figura 3. Comparativo do erro relativo em função da frequência para cabos em trifólio, instalados em eletrocalha e bitolas de 25 mm² e 150 mm²: resistência de sequência (a) positiva e (b) zero; indutância de sequência (c) positiva e (d) zero.

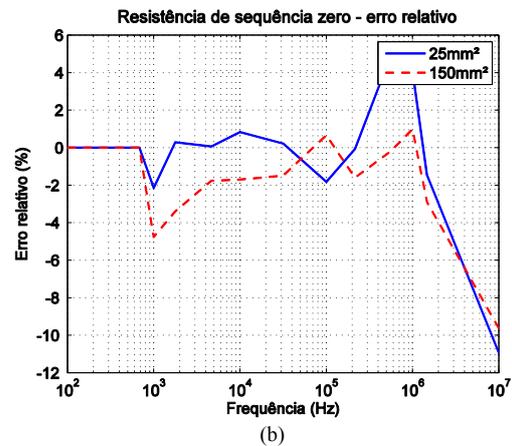
B. Cabo em trifólio instalado diretamente sobre o solo

No item anterior, notou-se que os erros relativos aos valores de indutância apresentados pelo “N-Ramos” foram pequenos, o que pôde ser igualmente observado no presente caso e também em todos os demais. Por esta razão, os resultados relativos às indutâncias não serão mais mostrados, de forma a evitar uma repetição monótona de curvas semelhantes.

No que diz respeito às resistências, as figuras 4(a) e 4(b) mostram que, nesta outra forma de instalação, a influência da bitola do condutor nos erros obtidos foi pequena no caso da resistência de sequência zero e bastante significativa no caso da resistência de sequência positiva. No caso dessa última, houve uma notável elevação do erro para frequências acima de 200 kHz, para o cabo de 150 mm². Por fim, mais uma vez o módulo dos erros mostraram forte tendência de incremento acima de 1 MHz, o que parece indicar uma possível tendência geral, ou deficiência, do modelo “N-Ramos”.



(a)



(b)

Figura 4. Comparativo do erro relativo em função da frequência para cabos em trifólio, instalados no solo e bitolas de 25 mm² e 150 mm²: resistência de sequência (a) positiva e (b) zero.

C. Cabo em arranjo planar dispostos em eletrocalha

Para este tipo de cabeamento, observa-se que a seção transversal do cabo afeta muito pouco a qualidade do resultado do modelo “N-Ramos”. A representação da resistência de sequência positiva e zero pelo modelo foi bastante equivalente para ambas as bitolas, especialmente para a primeira, conforme se observa na figura 5.

Além disso, tem-se que, até 1 MHz, os erros mantiveram-se sempre inferiores a 4 % em ambos os casos, demonstrando que a modelagem sob avaliação é bastante eficaz.

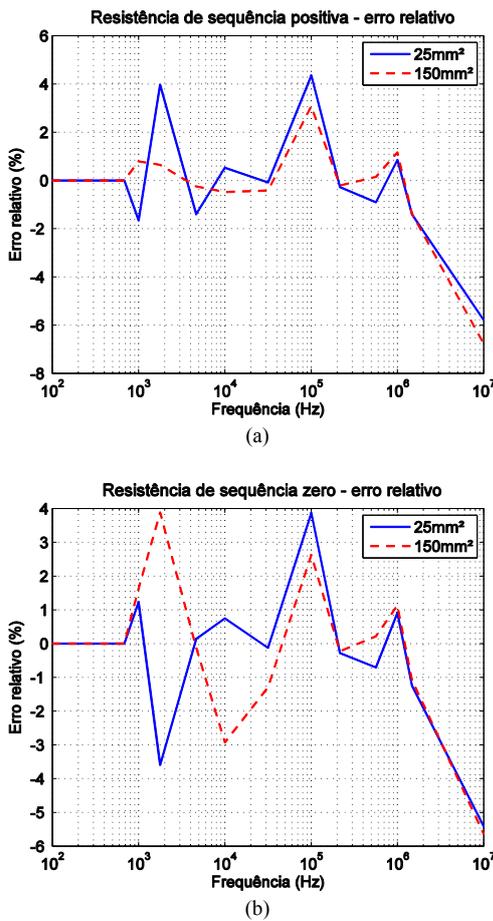


Figura 5. Comparativo do erro relativo em função da frequência para cabos planares, instalados em eletrocalha e bitolas de 25 mm² e 150 mm²: resistência de sequência (a) e (b) zero.

D. Cabos em arranjo planar diretamente sobre o solo

No caso específico deste arranjo e forma de instalação, apenas a curva relativa ao cabo de 150 mm² é exibida, já que não houve sucesso na modelagem do cabo de 25 mm². A razão é que o processo numérico iterativo para a determinação dos parâmetros R-L do modelo, descrito detalhadamente em (Chaves et al, 1997), pode resultar em valores negativos para os mesmos, o que não é aceito pelos simuladores. Durante a aplicação do método, tentou-

se a geração de modelos com número de ramos variando entre 3 e 8, mas em todos os casos houve a presença de pelo menos um parâmetro negativo, de indutância ou resistência, inviabilizando a aplicação do circuito correspondente no simulador. Vale ressaltar que tal dificuldade foi encontrada apenas no presente caso, e apenas para o cabo de 25 mm². No caso do cabo de 150 mm², pode-se notar que os erros obtidos chegaram a 25 %, no caso da resistência de sequência zero, e 22 %, no que diz respeito à de sequência positiva (figura 6).

Tais números representam o pior desempenho do modelo “N-Ramos” em todos os casos avaliados neste trabalho, o que, associado à impossibilidade de gerar modelos para o cabo de 25 mm² (e possivelmente para quaisquer outras seções mais reduzidas), aponta para a hipótese de que tal modelo se adequa satisfatoriamente a este arranjo e forma de instalação, especialmente para cabos de bitolas inferiores.

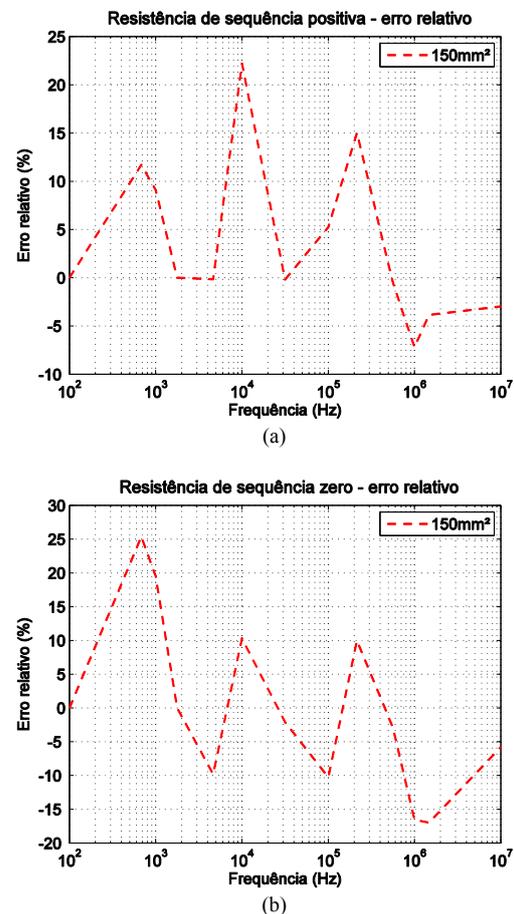


Figura 6. Comparativo do erro relativo em função da frequência para o cabo em arranjo planar, instalados sobre o solo e de bitola igual a 150 mm²: resistência de sequência (a) positiva e (b) zero.

E. Cabo tripolar blindado instalado diretamente sobre o solo

Neste último caso, nota-se que os resultados obtidos podem ser considerados excelentes, visto que o erro máximo na representação das resistências

pouco superou 2 % na larga faixa de 100 Hz a 1 MHz. A bitola do cabo não influenciou sensivelmente a qualidade dos modelos obtidos, visto os resultados para os cabos de 25 e 150 mm² foram aproximadamente equivalentes. A partir de 1 MHz, a tendência de aumento do erro foi comprovada, mais uma vez, mostrando essa ser uma limitação do modelo. Vale ressaltar, contudo, que tal limite de frequência é suficiente para a sua aplicação na análise da imensa maioria dos problemas de alta frequência e fenômenos transitórios encontrados em sistemas industriais.

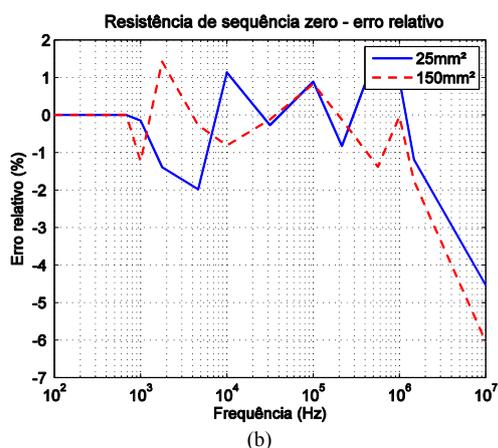
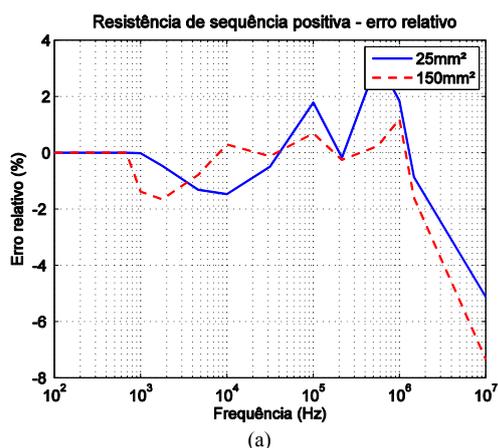


Figura 7. Comparativo do Erro Relativo em função da frequência para cabos blindados, instalados no solo e bitolas de 25 mm² e 150 mm²: resistência de sequência (a) positiva e (b) zero.

2.2. Avaliação do efeito da forma de instalação e arranjo geométrico do cabo na exatidão do modelo

Nesta seção, o foco é a investigação do impacto da forma de instalação e disposição geométrica dos cabos na qualidade do modelo “N-Ramos” gerado. Para tanto, um cabo de mesma bitola foi avaliado em formas de instalação distintas, sendo os resultados correspondentes sobrepostos na mesma figura. Tendo em mente este objetivo, foram comparados arranjos instalados tanto em eletrocalha como diretamente sobre o solo, nas seguintes configurações:

A. Cabos de 25 mm² em trifólio, cujos resultados são apresentados na figura 8;

B. Cabos de 150 mm² em arranjo planar – resultados mostrados na figura 9.

Os resultados correspondentes a cada um dos casos supracitados são apresentados na sequência.

A. Cabos de 25 mm² em trifólio

A figura 8(a) mostra que a forma de instalação do cabo (sobre o solo ou eletrocalha) influenciou muito pouco os resultados obtidos pelo “N-Ramos” no que tange a representação da resistência de sequência positiva do cabo. Por outro lado, no caso da resistência de sequência zero (figura 8(b)), o desempenho do modelo, quando aplicado à eletrocalha, mostrou-se bastante inferior àquele referente à instalação do cabo no solo, apresentando erros de até 13 %, em 5 kHz. De qualquer forma, ainda assim tal resultado pode ser considerado satisfatório e dentro da faixa de exatidão normalmente esperada para modelagens computacionais.

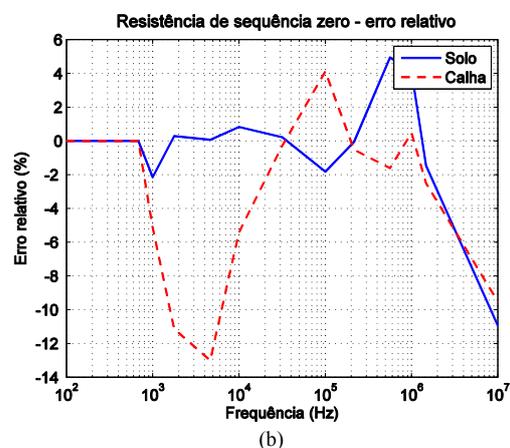
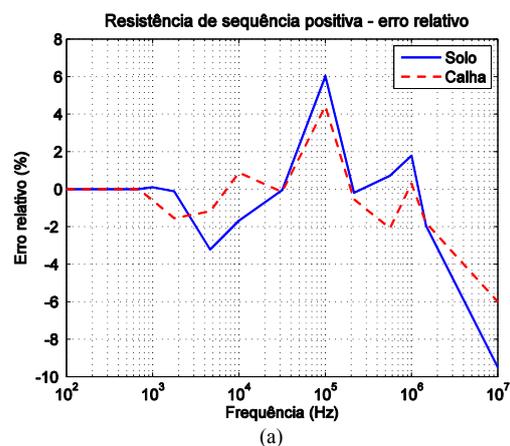


Figura 8. Comparativo do erro relativo em função da frequência para cabos 25 mm², com arranjo em trifólio, instalados sobre o solo ou eletrocalha: resistência de sequência (a) positiva e (b) zero.

B. Cabos de 150 mm² em arranjo planar

Para esta situação, observa-se, pela figura 9(a), que a resistência de sequência positiva do cabo foi melhor representada pelo modelo quando o mesmo encontrava-se instalado na eletrocalha, do que quando disposto sobre o solo. No caso da calha, os erros permaneceram próximo de zero por largas faixas de frequência, atingindo um erro máximo de apenas 3 % na frequência de 100 kHz, o que representa um resultado excepcional. No que se refere ao solo, os erros foram comparativamente bem maiores ao longo de quase toda a faixa analisada, com picos de 5 a 8 % em frequências distintas. No caso da resistência de sequência zero, a forma de instalação do cabo afetou bem menos a qualidade do modelo gerado, de forma que os resultados foram relativamente próximos, com exatidão ligeiramente inferior para o caso do sistema em eletrocalha.

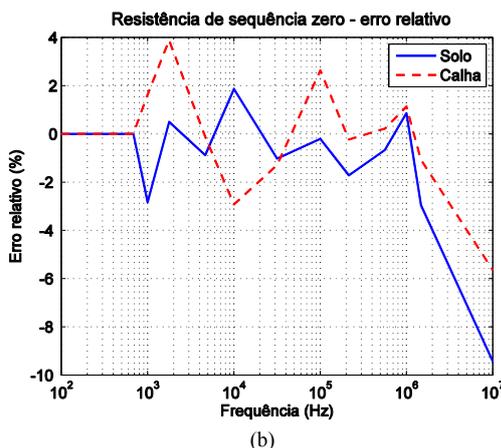
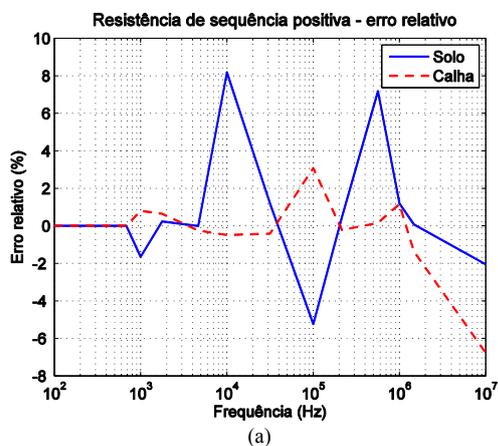


Figura 9. Comparativo do erro relativo em função da frequência para cabos de 150 mm², com arranjo planar, instalados sobre o solo ou eletrocalha: resistência de sequência (a) positiva e (b) zero.

4 Conclusões

No âmbito da modelagem de cabos elétricos para estudos de alta frequência, este trabalho elegeu como objeto de análise a metodologia “N-Ramos”, caracterizando o seu desempenho quando aplicada a

diferentes tipos de instalações. Com este propósito, a análise contemplou cabos de diferentes seções transversais (25 e 150 mm²), formas de instalação (sobre o solo ou eletrocalhas), arranjos geométricos (planar e triangular) e ainda cabos com blindagem, avaliando-os do ponto de vista do erro apresentado pelo modelo na representação da resistência e indutância de sequência positiva e zero do cabo.

De forma geral, observou-se que ainda que as características do cabo influenciem o desempenho do modelo gerado, alterando o comportamento e valores de pico das respectivas curvas de erro, o mesmo pôde ser considerado bastante satisfatório mesmo nas situações onde apresentou os piores resultados. Mesmo em tais situações, os erros jamais ultrapassaram 13 %, o que é considerado ótimo, haja vista a larga faixa de frequências avaliada. A exceção ficou por conta do cabo instalado diretamente sobre o solo em arranjo planar, onde não foi possível gerar modelos para o cabo de 25 mm² e, no caso do cabo de 150 mm², cuja obtenção foi possível, os erros mostraram ser demasiadamente elevados, atingindo valores de até 25 %. Além disso, em todos os casos analisados, os erros apresentaram grande tendência de crescimento a partir da frequência de 1 MHz, o que não representa propriamente um problema, uma vez que as frequências dos fenômenos no âmbito industrial normalmente encontram-se abaixo deste valor.

Perante o exposto, pode-se afirmar que o modelo “N-Ramos” mostrou-se bastante apropriado para ser empregado em simulações de problemas de alta frequência, transitórios eletromagnéticos, estudos de interferência e compatibilidade eletromagnética conduzida, harmônicos e outros. Como exemplos de aplicação, pode-se citar, mais especificamente, problemas associados à aplicação de pulsos PWM no cabo de interligação inversor-motor (sobretensões transitórias nos terminais da máquina, corrente transitória de carga do cabo, correntes de modo comum, correntes de descarga pelo rolamento do motor, etc), circulação de correntes de terra em sistemas fotovoltaicos, problemas gerais de fluxo /penetração harmônica, transitórios de energização de bancos de capacitores, surtos transferidos ao secundário do transformador e sobretensões resultantes nas cargas, dentre vários outros.

Referências Bibliográficas

- Castellanos, F. and Marti, J. R. (1997), “Full Frequency-Dependent Phase-Domain Transmission Line Model”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 12, No. 3, pp. 1331 - 1339.
- Chaves, M. L. R., Oliveira, J.C. and Resende, J. W. (1997), “Time Domain Cable Modeling with Frequency Dependent Parameters”, International Conference on Power Systems Transient Proceed. pp. 275 - 279, Seattle - USA.
- Irias, Nayara G. N., Paula, Hélder de, Pereira, Philipe, Cardoso, Eduardo N. and Lopes, Bruno

- M. (2015), "Degradation of Photovoltaic Panels Induced by Electric Potential: Theoretical Survey and Computational Study on the Inverter Operation Influence", Congresso Brasileiro de Eletrônica de Potência, Fortaleza - Brasil.
- Júnior, João A. C., Paula, Hélder de, Filho, Braz J. C. and Rocha, Anderson V. (2012), "Rectifier-to-Inverter Connection Through Long DC Cable – Part II: The Complete Copper Economy Characterization", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 48, No.1, pp. 229 - 235.
- Kunakorn, A., Hiley J. and Smith, K. S. (2000), "Frequency Dependent Time Domain Models for Calculation Switching Transients in PWM Drives", IEEE International Conference on Power System Technology, pp. 205 - 210, Perth - Austrália.
- Lima, A. C. S., Dommel, H. W. and Stephan, R. M. (2000), "Modeling Adjustable-Speed Drives with Long Feeders", IEEE Transaction on Industrial Electronics, vol. 47, n. 3, pp. 549 - 556.
- Moreira, A. F., Lipo, T. A., Venkataramanan, G. and Bernet, S. (2001), "High Frequency Modeling for Cable and Induction Motor Over-Voltage Studies in Long Cable Drives", 36^o IEEE IAS Annual Meeting, pp. 1787 - 1794, Chicago - USA.
- Paula, Hélder de, Chaves, Marcelo L. R., Andrade, Darizon A., Freitas, Marcos A. and Domingos, José L. (2004), "Uma Metodologia de Modelagem e Simulação de Cabos Elétricos para Estudos de Sobretensões Transitórias em Acionamentos PWM através de Cabos Longos", Congresso Brasileiro de Automática, Gramado - Brasil.
- Paula, Hélder de, Andrade, Darizon A., Chaves, Marcelo L. R., Domingos, José L. and Freitas, Marcos A. A. de (2008), "Methodology for Cable Modeling and Simulation for High-Frequency Phenomena Studies in PWM Motor Drives", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 23, No. 2, pp. 744 - 752.
- Paula, Hélder de, Lisboa, Marcos V. C., Guilherme, Jonathas F. R., Almeida, Welinton P. and Moreira, Alessandro. F. (2009), "Differential Overvoltages and Common-Mode Currents in PWM Motor Drives: The Influence of the Cable Arrangement on Their Characteristics", Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society, Porto - Portugal.
- Pereira, Philipe, Paula, Hélder de, Filho, Braz J. C. and Brito, José A. S. (2015a), "Photovoltaic Systems Representation for High Frequency Studies – Part I: The Power Transformer Modeling", Congresso Brasileiro de Eletrônica de Potência, Fortaleza - Brasil.
- Pereira, Philipe, Paula, Hélder de, Filho, Braz J. C. and Brito, José A. S. (2015b), "Photovoltaic Systems Representation for High Frequency Studies – Part II: The Inverter Modeling", Congresso Brasileiro de Eletrônica de Potência, Fortaleza - Brasil.
- Pereira, Philipe, Paula, Hélder de, Cardoso, Eduardo N., Irias, Nayara G. N. and Lopes, Bruno M. (2015c), "Comparative Analysis of PWM Techniques: an Eletromagnetic Compatibility Study on the Inverter Operation Within Photovoltaic Systems", Congresso Brasileiro de Eletrônica de Potência, Fortaleza - Brasil.
- Souza, Warley. L. de, Paula, Hélder de, Conti, Alberto de, and Mesquita, Renato C. (2017), "Cable Parameter Calculation for Typical Industrial Installation Methods and High-Frequency Studies", IEEE Annual Meeting of the Industry Applications Society, Cincinnati - USA.
- Vendrusculo, E. A. and Pomilio, J. A. (1999), "Power Cables Parameters Estimation in Long Distance Driving of Electrical Machines", IEEE International Electric Machines and Drives Conference, pp. 410 - 412, Washington - USA.