

Identificação de Fontes Distorções Harmônicas no Campus Universitário do Guamá da Universidade Federal do Pará

E. O. de Matos, T. M. Soares, U. H. Bezerra, M. E. L. Tostes, A. R. A. Manito

Universidade Federal do Pará

ortiz@ufpa.br, thiagosoares@ufpa.br, bira@ufpa.br, tostes@ufpa.br, allanmanito@yahoo.com.br

Resumo — Este artigo apresenta um estudo caso realizado no campus Universitário do Guamá da Universidade Federal do Pará (UFPA) no qual buscou-se quantificar o impacto provocado pelos alimentadores Básico I, Básico II, Profissional e Saúde no nível de distorção harmônica de tensão da subestação de entrada da universidade. Para tal, utilizou-se o método de regressão não paramétrico para caracterizar a relação existente entre as correntes harmônicas dos prédios e as tensões harmônicas da subestação. Os resultados obtidos foram avaliados por meio do coeficiente de determinação R^2 .

Palavras Chaves – distorção harmônica, impacto harmônico, regressão não paramétrica

I. INTRODUÇÃO

Para que a gestão da qualidade de energia elétrica seja conduzida de forma eficiente, é essencial o desenvolvimento de metodologias que sejam capazes de determinar como as diferentes cargas não lineares influenciam na taxa de distorção harmônica de tensão de uma rede elétrica.

Ao longo dos últimos 25 anos, diversas metodologias têm sido propostas de forma a solucionar o problema da quantificação do impacto harmônico de cargas não lineares nas redes elétricas, dentre os quais pode-se citar a metodologia proposta em [1], que busca determinar como a rede elétrica da concessionária e a rede do consumidor influenciam no nível de distorção harmônica de tensão no ponto de acoplamento comum (PAC) por meio do método da superposição.

Em [2], os autores também buscam determinar a parcela de contribuição da unidade consumidora e da concessionária na taxa de distorção harmônica de tensão no PAC, no entanto, nessa abordagem, os autores propuseram a inserção de uma impedância dominante com valor conhecido no PAC, o que contornaria os problemas em determinar a impedância da unidade consumidora.

Diferentemente das abordagens apresentadas em [1] e [2], [3] apresentou uma abordagem no qual buscou-se determinar o impacto harmônico de um conjunto de cargas geradoras de harmônicos em pontos específicos da rede elétrica por meio da aplicação de técnicas de regressão linear nos dados medidos em diferentes pontos do sistema.

Apesar das técnicas de regressão linear apresentarem resultados satisfatórios para pequenos períodos de medição, essas técnicas não são capazes de caracterizar de forma

eficiente a correlação existente entre a corrente harmônica das cargas e a tensão harmônica da rede elétrica em intervalos grandes. Logo, de forma contornar essa situação, [4] e [5] apresentaram uma metodologia para determinar o impacto harmônico de múltiplas cargas geradoras de harmônicos tendo como base a técnica de regressão não paramétrica denominada de Regressão Polinomial Local de Kernel.

Diante desse contexto, esse artigo apresenta um estudo de caso realizado no campus Guamá da Universidade Federal do Pará que consistiu em determinar o percentual de impacto provocado por quatro alimentadores da Universidade Federal do Pará no nível de distorção harmônica de tensão da subestação de entrada da mesma.

II. REGRESSÃO POLINOMIAL LOCAL DE KERNEL

A regressão polinomial local de Kernel é uma técnica de regressão não paramétrica que, a partir de uma amostra de dados, cria um modelo estatístico que descreve a relação existente entre duas variáveis distintas sem ter conhecimento prévio do tipo de função que melhor representa essa relação. A Fig 1 ilustra um modelo estatístico criado com a regressão não paramétrica.

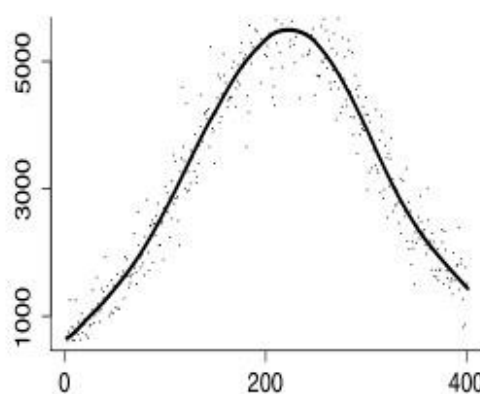


Fig 1. Regressão polinomial local de Kernel[]

O processo de criação do modelo estatístico baseia-se no ajuste local de um polinômio de grau p à uma pequena amostra de dados definida por um parâmetro denominado de

largura de banda (h). Então, o modelo não paramétrico pode ser construído por meio das equações (1) e (2).

$$\hat{\mathbf{m}} = \mathbf{e}^T (\mathbf{I}^T \mathbf{W} \mathbf{I})^{-1} \mathbf{I}^T \mathbf{W} \mathbf{V} \quad (1)$$

onde: $\mathbf{I}$ é o vetor de correntes RMS

$\mathbf{V}$ é o vetor de tensão RMS

$\mathbf{e}^T = (1, 0, \dots, 0)$

$\mathbf{W} = \text{diag}\{\mathbf{K}_h(I_1 - I), \dots, \mathbf{K}_h(I_n - I)\}$

$$\mathbf{K}_h(I_i - I) = \mathbf{h}^{-1} \mathbf{K} \left(\frac{I_i - I}{h} \right) \quad (2)$$

É importante ressaltar que um parâmetro que influencia significativamente na criação do modelo estatístico é a largura de banda, uma vez que valores baixos de largura de banda causam um subsuavização do modelo, enquanto que valores elevados de largura de banda provoca uma sobresuavização do modelo. A Fig 2 mostra exemplos do modelo não paramétrico para diferentes valores de largura de banda.

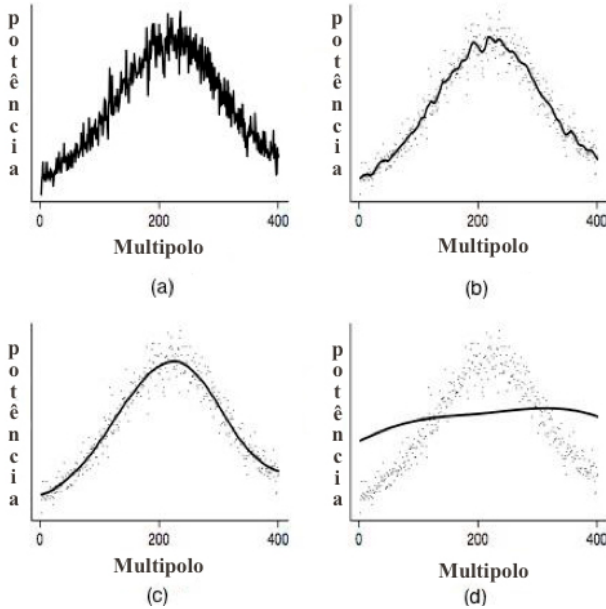


Fig 2. (a) modelo subsuavizado, (b) modelo com baixo valor de largura de banda, (c) modelo com largura de banda ótimo, (d) modelo sobresuavizado.

III. METODOLOGIA

Considerando as características e especificidades deste estudo, apresenta-se uma metodologia capaz de quantificar a contribuição de múltiplas unidades consumidoras no nível de distorção harmônica de tensão em um ponto específico de um sistema de distribuição a partir dos módulos das tensões harmônicas da rede elétrica e correntes harmônicas das unidades consumidoras, denominado “metodologia de quantificação do impacto harmônico”. A Fig. 3 apresenta um fluxograma descreve cada passo dessa metodologia.

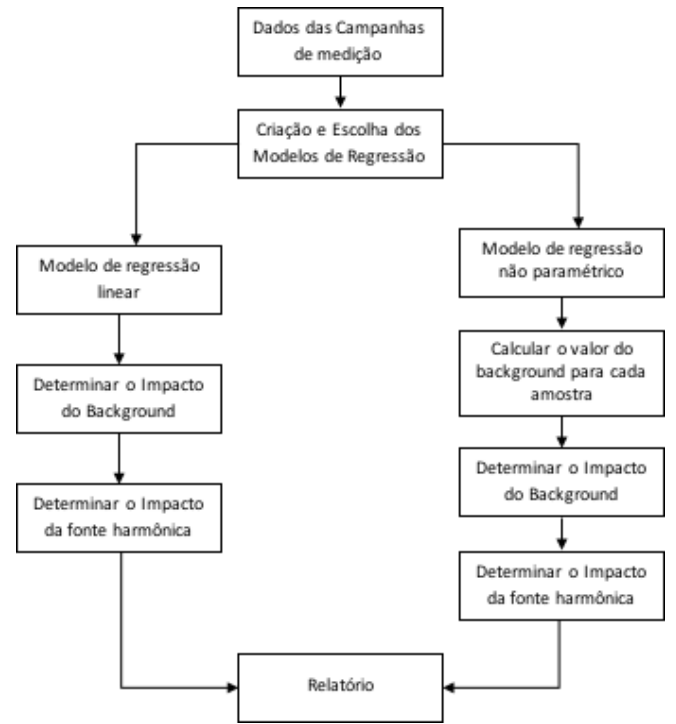


Fig. 3 Fluxograma da metodologia de quantificação do impacto harmônico

Como pode ser observado na Fig. 3, o modelo é dividido em etapas, levando-se em consideração a escolha do modelo de regressão a ser utilizado. A definição e metodologia, de cada um deles, é realizada a seguir.

A. MEDIÇÕES DAS CAMPANHAS DE MEDIÇÃO

Neste primeiro passo, obtêm-se as medidas dos módulos das tensões harmônicas em um ponto específico da rede elétrica e das correntes harmônicas das unidades consumidoras suspeitas de provocar distorções harmônicas significativas, por medição simultânea.

B. ESCOLHA DO MODELO DE REGRESSÃO

Neste processo, criam-se modelos de regressão por meio dos métodos de regressão linear simples ou não paramétrico. A escolha do método depende bastante do grau de correlação existente entre a corrente e a tensão harmônica, ou seja, caso a correlação existente entre a tensão e corrente harmônica seja considerada “muito alta”, o método de regressão linear simples é suficiente para caracterizar a relação entre essas grandezas, pois o modelo apresentará uma resposta semelhante ao modelo não paramétrico.

No entanto, caso o grau de correlação entre a corrente e a tensão harmônica seja “moderada” ou “forte”, o método de regressão não paramétrico torna-se uma opção mais indicada, tendo em vista que é capaz de representar com maior exatidão a relação existente entre as grandezas elétricas em questão. A determinação dos fatores de impacto deve ser aplicados para cada harmônica h , injetado pelas cargas $k \neq j, j \in \{1, \dots, n\}$

Vale ressaltar que os métodos de regressão, no que tange a relação entre tensão e corrente, podem apresentar uma relação diretamente proporcional ou inversamente proporcional. Tal consideração é um fator crucial para a realização do processo.

Após a verificação destes parâmetros, aplica-se a metodologia do modelo de regressão escolhido. Se o modelo de regressão for criado por meio do método de regressão linear simples, é necessário calcular os valores dos coeficientes da Equação linear. Caso o modelo de regressão seja criado a partir do método de regressão não paramétrico, deve-se, primeiramente, calcular o grau da curva não paramétrica.

Para verificação do valor do *background* de cada amostra, deve-se calcular o vetor de tensão de *background* utilizando para cada amostra de acordo com (3). A tensão *background* é uma tensão harmônica residual devido às demais cargas geradoras de harmônicas presente na rede elétrica. Esse cálculo não faz parte do método padrão de regressão não paramétrico, e foi desenvolvido pelo autor.

$$V_{back-i} = V_{modelo-yi} - \left[\left(\frac{V_{modelo-y(i+1)} - V_{modelo-yi}}{V_{modelo-x(i+1)} - V_{modelo-xi}} \right) V_{modelo-xi} \right] \quad (3)$$

Onde:

$V_{modelo-yi}$ é o valor da tensão do modelo de regressão não paramétrico

$V_{modelo-xi}$ é o valor da corrente do modelo de regressão não paramétrico

Após o cálculo de vetor de tensão harmônica de *background*, calcula-se os impactos do vetor de *background* através de (4), caso a tensão e a corrente harmônicas apresentem uma relação diretamente proporcional na amostra em análise; ou por meio de (5), caso a tensão e corrente harmônicas apresentem uma relação inversamente proporcional na amostra em análise.

$$IP_{background-i} = \left(\frac{V_{back-i}}{\hat{V}_i} \right) \times 100\% \quad (4)$$

$$IP_{background-i} = \left(\frac{\hat{V}_i}{V_{back-i}} \right) \times 100\% \quad (5)$$

O impacto harmônico gerado pela unidade consumidora em análise pode ser calculado por (6), caso a tensão e a corrente harmônicas apresentem uma relação diretamente proporcional, ou através de (7), caso a tensão e corrente harmônicas apresentem uma relação inversamente proporcional.

$$IP_{fonte-i} = \left(\frac{V_{fonte-i}}{\hat{V}_i} \right) \times 100\% \quad (6)$$

$$IP_{fonte-i} = \left(\frac{\hat{V}_i}{V_{fonte-i}} \right) \times 100\% \quad (7)$$

Onde:

$V_{fonte-i}$ é tensão harmônica provocada pela unidade consumidora para cada amostra de dados;

V_{back-i} é a tensão harmônica provocada pelas outras fontes harmônicas presentes na rede elétrica para cada amostra de dados;

$\hat{V}_i$ é a tensão harmônica total estimada pelo modelo de regressão linear para cada amostra de dados..

IV. O SISTEMA ELÉTRICO DA UFPA

A Universidade Federal do Pará (UFPA) possui, atualmente, 40 unidades consumidoras (UC) de energia

elétrica, distribuídas no município de Belém e demais *Campi*, localizados no interior do Estado do Pará. O *Campus* Prof. José de Silveira Neto, conhecido como “*Campus* Universitário do Guamá”, localizado na cidade de Belém/PA, às margens do rio Guamá, é identificado pela concessionária de distribuição de energia elétrica local como Unidade Consumidora (UC) 19.

Considerada como a principal UC de energia elétrica da Universidade Federal do Pará, a UC-19 engloba 84 (oitenta e quatro) unidades acadêmicas e/ou administrativas ao longo do *Campus* Universitário do Guamá.

Com o objetivo de atender à necessidade de distribuição de energia elétrica, foram instalados quatro alimentadores (AL) para energizar todo o *Campus* Universitário do Guamá, identificados como AL-01, AL-02, AL-03 e AL-04, distribuídos entre os *Campi* Básico, Profissional e Saúde.

O campo de demonstração de resultados será centrado no AL-04, localizado no Campus Saúde da Universidade Federal do Pará, responsável por alimentar 15 Unidades e que possui 2.959,53m de comprimento.

A medição de tais resultados foi realizada através do Sistema de Gestão de Energia Elétrica (SISGEE), que é um Sistema de Informação Gerencial (SIG) *online* o qual possibilita à análise das características operacionais da rede elétrica de distribuição da UFPA, em tempo real, como também, a realização de simulações e supervisão.

V. ANÁLISE DE RESULTADOS

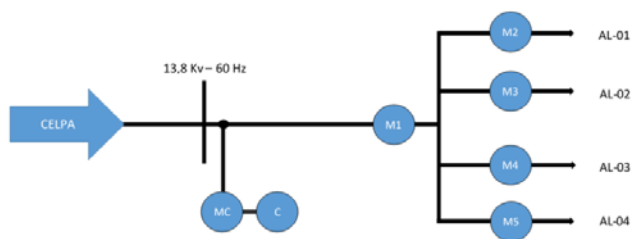
Aplicou-se a metodologia descrita com o objetivo de determinar a influência da carga do Alimentador 04 que influencia mais nos níveis de distorção harmônica da tensão no ponto de entrada da mesma.

Para tal, realizou-se uma campanha de medição onde se apresentam os impactos harmônicos das cargas do alimentador supracitado na tensão de entrada da UFPA, durante o período de 24 (vinte e quatro) de novembro a 01 de dezembro de 2015. É importante ressaltar que neste período a universidade estava funcionando a plena carga.

As medições utilizadas para a simulação dos modelos de regressão linear e não paramétricas foram obtidas através da instalação de 5 equipamentos da marca HIOKI, modelo PW3198, com as seguintes especificações:

- Analisador de Qualidade de Energia, da marca *Hioki* PW3198, trifásico, aderente aos padrões IEC 61000-4-30; 61000-4-7; 61000-4-15, Classe A (exatidão de 0,1%), para instalação em BT até 600 V. Mede tensões, correntes, potências ativa e reativa, energias ativa e reativa, fator de potência, harmônicos individuais de tensão e corrente até a 50ª. ordem, distorções harmônicas totais de corrente e tensão; Variações de Tensão de Curta Duração (*sags* e *swells*), sobretensões transitórias de baixa, média e alta frequências, *flicker*, desequilíbrios de tensão e corrente, inter-harmônicos, correntes de *inrush*.

O estudo foi realizado com base na configuração do sistema, demonstrado na Fig. 4. Toda a análise da metodologia foi realizada somente para os harmônicos de 3ª e 5ª, por serem consideradas as componentes harmônicas de maior importância nesse sistema elétrico.



Onde:
M – Medidor da Concessionária
M1 – Medidor instalado na entrada de tensão
C – Medidor da UFPA
M2 a M5 – Medidores instalados nos alimentadores
Fig. 4 – Configuração do sistema elétrico da UFPA

A) MODELO DE REGRESSÃO

No estudo de caso apresentado, buscou-se avaliar o desempenho dos modelos de regressão linear e não paramétrico, tendo por base a análise das componentes harmônicas de 3ª e 5ª ordem. Vale ressaltar que essas são as componentes que apresentaram os maiores níveis de distorções harmônicas.

As Figs 5, 6 e 7 apresentam os modelos de regressão linear e não paramétricos que correlacionam a tensão harmônica de ordem 3, no barramento de entrada, com a corrente harmônica de mesma ordem do alimentador da saúde nas fases A, B e C, respectivamente.

Analisando o modelo mostrado na Fig. 5, verifica-se que o modelo linear apresenta uma relação inversamente proporcional entre a corrente do 3º harmônico do alimentador da saúde, com a tensão de mesma ordem harmônica na fase A. Na Tabela I, pode ser observado que este apresenta um R^2 baixo. Logo, indica a inexistência de influência na tensão harmônica na fase A. O modelo de regressão não paramétrico apresentou uma baixa correlação entre a corrente e tensão do 3º harmônico do alimentador da saúde, o que demonstra que o alimentador da saúde praticamente não influencia na tensão do 3º harmônico da fase A da cabine de medição.

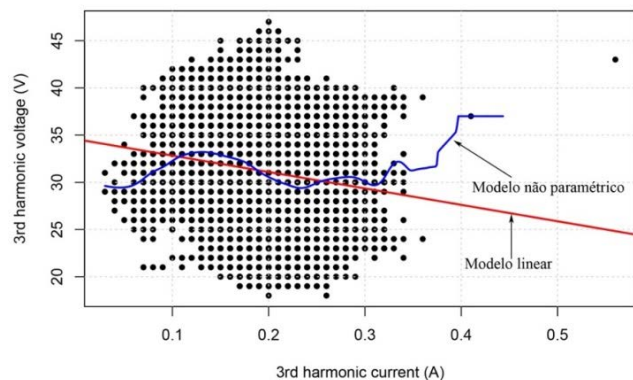


Fig. 5 – Correlação existente entre a corrente do 3º harmônico do alimentador saúde e a tensão de mesma ordem harmônica do barramento de entrega de energia da fase A

Na Fig 6, verifica-se que o modelo de regressão linear apresenta uma relação diretamente proporcional entre a corrente do 3º harmônico do alimentador da saúde com a tensão de mesma ordem harmônica na fase B. A Tabela I mostra que o modelo de regressão linear apresenta um R^2 alto, e, portanto, indica que o alimentador da saúde influencia significativamente a tensão harmônica na fase B.

O modelo não paramétrico, mostrado na Fig 6, também apresentou uma alta correlação entre a corrente do 3º harmônico do alimentador saúde com a tensão na fase B da cabine de medição.

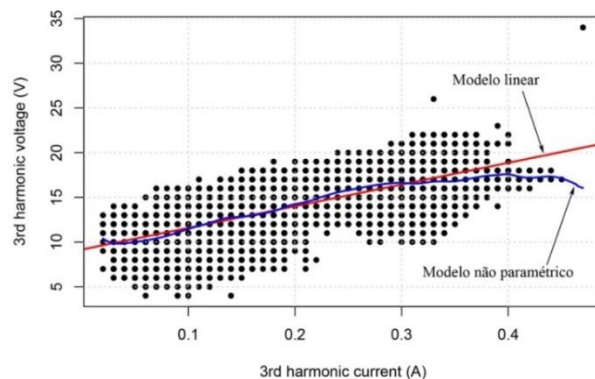


Fig.6 Correlação existente entre a corrente do 3º harmônico do alimentador saúde e a tensão de mesma ordem harmônica do barramento de entrega de energia da fase B

A Fig 7 apresenta o comportamento da corrente da fase C do alimentador do alimentador saúde. Como pode ser observado, o modelo de regressão linear apresenta uma relação inversamente proporcional, entre a corrente e tensão do 3º harmônico. Na Tabela 1, observa-se o valor de R^2 baixo, o que indica uma baixa correlação.

O modelo não paramétrico, mostrado na Fig 7, apresentou uma baixa correlação entre a corrente e tensão do 3º harmônico da fase C.

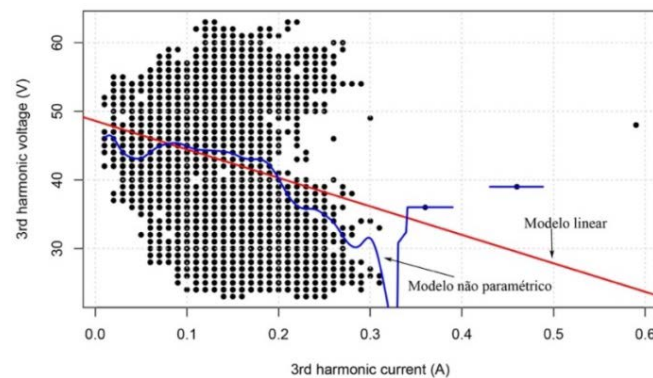


Fig 7 – Correlação existente entre a corrente do 3º harmônico do alimentador saúde e a tensão de mesma ordem harmônica do barramento de entrega de energia da fase C

TABELA I. RESUMO DOS VALORES R^2 DOS MODELOS LINEAR E NÃO PARAMÉTRICO QUE CARACTERIZAM A RELAÇÃO DA CORRENTE DO 3º HARMÔNICO DO ALIMENTADOR SAÚDE NA TENSÃO DE ENTRADA DA UFPA

Modelo	Fase A	Fase B	Fase C
Modelo linear	0,028	0,54	0,05
Modelo não paramétrico	0,05	0,56	0,08

Para a análise do desempenho dos modelos de regressão linear e não paramétricos que correlacionam a tensão harmônica de 5ª ordem no barramento de entrada da UFPA com a corrente de mesma ordem no AL-04, onde aplicou-se a mesma metodologia desenvolvida para a determinação da

correlação de tensão e corrente harmônica de 3ª ordem. O resultado desta análise pode ser observado na Tabela II.

TABELA II – R ² DOS MODELOS LINEAR E NÃO PARAMÉTRICO, QUE CARACTERIZAM A RELAÇÃO DA CORRENTE DO 5º HARMÔNICO DOS ALIMENTADORES AL-01, AL-02, AL-03 E AL-04, NA TENSÃO DE ENTRADA DA UFPA		
Fases	ALIMENTADOR SAÚDE (AL-04)	
	Modelo Linear	Modelo não paramétrico
A	0,48	0,59
B	0,52	0,59
C	0,55	0,56

B) IMPACTO HARMÔNICO A PARTIR DOS MODELOS NÃO PARAMÉTRICOS

Nas Tabelas III, IV e V, apresentam-se os impactos dos prédios do Básico 1, Básico 2, Profissional e Saúde da UFPA nas fases A, B e C, respectivamente, na tensão do 3º harmônico, aplicando-se o modelo não paramétrico. É importante ressaltar que os prédios apresentaram impactos diferentes em cada fase. Analisando essas tabelas, observou-se que o prédio Profissional apresentou uma contribuição significativa na tensão do 3º harmônico nas fases A e C, enquanto que o prédio da Saúde influenciou significativamente tensão na fase B.

TABELA III - Impactos dos alimentadores da UFPA na tensão do 3º harmônico da fase A, da cabine de medição - modelo não paramétrico

Modelos	Impacto da fonte harmônica (%)	Impacto do Background (%)
Modelo 1 (Básico 1)	44,15 %	55,84 %
Modelo 2 (Básico 2)	36,16 %	63,83 %
Modelo 3 (Profissional)	45,71 %	54,28 %
Modelo 4 (Saúde)	19,65 %	80,34 %

TABELA IV - Impactos dos alimentadores da UFPA na tensão do 3º harmônico da fase B, da cabine de medição - modelo não paramétrico

Modelos	Impacto da fonte harmônica (%)	Impacto do Background (%)
Modelo 1 (Básico 1)	43,21 %	43,21 %
Modelo 2 (Básico 2)	51,07 %	48,92 %
Modelo 3 (Profissional)	43,35 %	56,64 %
Modelo 4 (Saúde)	65,61 %	34,38 %

TABELA V - Impactos dos alimentadores da UFPA na tensão do 3º harmônico da fase C, da cabine de medição - modelo não paramétrico

Modelos	Impacto da fonte harmônica (%)	Impacto do Background (%)
Modelo 1 (Básico 1)	22,30 %	77,69 %
Modelo 2 (Básico 2)	27,05 %	72,94 %
Modelo 3 (Profissional)	50,32 %	49,67 %
Modelo 4 (Saúde)	13,40 %	86,59 %

Analisando as tabelas VI, VII e VIII, que mostram os impactos dos prédios da Universidade Federal do Pará nos níveis de 5º harmônico da tensão da subestação de entrada, é possível observar o prédio básico 1 exerceu uma influência significativa nos níveis de 5º harmônico das fases A e B, enquanto que o prédio da Saúde influenciou na fase C.

TABELA VI - Impactos dos alimentadores da UFPA na tensão do 5º harmônico da fase A, da cabine de medição - modelo não paramétrico

Modelos	Impacto da fonte harmônica (%)	Impacto do Background (%)
Modelo 1 (Básico 1)	91,89 %	8,1 %
Modelo 2 (Básico 2)	85,40 %	14,59 %
Modelo 3 (Profissional)	91,32 %	8,68 %
Modelo 4 (Saúde)	85,65 %	14,34 %

TABELA VII - - Impactos dos alimentadores da UFPA na tensão do 5º harmônico da fase B, da cabine de medição - modelo não paramétrico

Modelos	Impacto da fonte harmônica (%)	Impacto do Background (%)
Modelo 1 (Básico 1)	96,66 %	3,33 %
Modelo 2 (Básico 2)	87,41 %	12,58 %
Modelo 3 (Profissional)	91,30 %	8,69 %
Modelo 4 (Saúde)	91,02 %	8,97 %

TABELA VIII - - Impactos dos alimentadores da UFPA na tensão do 5º harmônico da fase C, da cabine de medição - modelo não paramétrico

Modelos	Impacto da fonte harmônica (%)	Impacto do Background (%)
Modelo 1 (Básico 1)	25,35 %	74,64 %
Modelo 2 (Básico 2)	48,22 %	51,77 %
Modelo 3 (Profissional)	46,08 %	53,91 %
Modelo 4 (Saúde)	73,98 %	26,01 %

VI. CONCLUSÃO

O modelo de regressão não paramétrica apresentou uma grande flexibilidade na estimação do modelo, uma vez que torna possível a realização de um ajuste mais efetivo das amostras de dados, e, portanto, é capaz de caracterizar a influência de cada fonte harmônica de forma mais detalhada e para todo o período de medição, diferentemente do modelo estimado por regressão linear, o qual se limita a equação da reta, para modelar todo o conjunto de dados.

Dessa forma, entende-se que a principal contribuição desta técnica consiste na proposição de metodologia capaz de identificar as fontes harmônicas e quantificar os impactos dessas fontes na tensão do sistema, a partir de campanhas de medição simultâneas, envolvendo somente os valores RMS das tensões e correntes. Isso torna este procedimento de cunho prático para a utilização nas empresas de energia elétrica, agentes reguladores, e outras aplicações, antecipando-se a regulamentação das responsabilidades com relação à geração de harmônicos.

No campus Universitário do Guamá da Universidade Federal do Pará, concluiu-se que o alimentador que fornece energia para a o bloco da saúde exerce uma grande influência no nível de tensão do 3º harmônico e do 5º harmônico.

VII. REFERÊNCIAS

- [1] W. Xu, Y. Liu. "A Method for Determining Customer and Utility Harmonic Contributions at the Point of Common Coupling". IEEE Transactions on Power Delivery. Vol. 15, NO 2, April, 2000.
- [2] I. N. Santos, J. C. Oliveira, J. R. M. Junior. "Uma Proposta de Metodologia para Atribuição de Responsabilidade sobre as Distorções Harmônicas Utilizando o Princípio da Superposição". XXI SNPTTE Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Outubro 2011.
- [3] H. E. Mazin, W. Xu, B. Huang. "Determining the Harmonic Impacts of Multiple Harmonic-Producing Loads". IEEE Transactions on Power Delivery. VOL 26, NO 2, April, 2011.
- [4] E. O. de Matos, T. M. Soares, U. H. Bezerra, M. E. L. Tostes, A. R. A. Manito, B. C. C. Junior. "Using Linear and Non-parametric Regression Models to Describe the Contribution of Non-Linear Loads on the Voltage Harmonic Distortions in the Electrical Grid". IET Generation, Transmission & Distribution. Vol. 10, no 8, pp 1825-1832.
- [5] E. O. Matos. Análise não Paramétrica para Identificação de Fontes de Distorções Harmônicas em Sistemas de Energia Elétrica: Um Estudo Aplicado no Campus Universitário do Guamá da Universidade Federal do Pará. 2015. 132 j. Tese (doutorado) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.
- [4] Y. J. Wang, "Analysis of Effects of Three-Phase Voltage Unbalance on Induction Motors with Emphasis on the Angle of the Complex Voltage Unbalanced Factor," *IEEE Trans. on Energy Conversion*, vol. 16, no. 3, pp. 270- 275, 2001.
- [5] P.H.R.P. Gama. "Qualidade de Energia Elétrica: Conservação de Energia: Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações". Eletrobrás/PROCEL EDUCAÇÃO. Itajúba, 2006.
- [6] A. Baggi. "Handbook of Power Quality". John Wiley & Sons, 2008.
- [7] Gilson P. Paulillo, M. D. Teixeira. "Capítulo II – Harmônicos – Conceitos". Revista o Setor Elétrico – Qualidade de Energia, Nº 85, p.35-42, fev. 2013
- [8] J. Arrillaga, N. R. Watson. e S. Chen. "Power System Quality Assessment". John Wiley & Sons, 2001.
- [9] D. A. Teixeira. "Análise das Distorções Harmônicas - Estudo de Caso de um Sistema Industrial". 2009. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2009
- [10] SCHNEIDER. Workshop Instalações Elétricas de Baixa Tensão – Qualidade de Energia Harmônicas. Schneider/Procobre, 2003.
- [11] ANEEL. Módulo 8: Qualidade de Energia Elétrica – Revisão 6. In: Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional. Agencia Nacional de Energia Elétrica, Brasília, 2015.