

Modelagem e Análise de uma micro rede utilizando o *Software* GridLAB-D

Victor Lomba Pinto Queiroz, Paulo Andrade Souza
Universidade Salvador
vlqueiroz93@gmail.com, paulo.andrade@unifacs.br

Daniel Barbosa, Kleber Freire da Silva
Universidade Federal da Bahia
dbarbosa@ufba.br, kfreire@ufba.br

Resumo — O crescimento do sistema elétrico de potência e das tecnologias a ele associadas faz com que seja necessário novos estudos acerca das aplicações através de modelos e simulações capazes de representar o comportamento do sistema. Aliado a isso, o aumento da inserção de energias renováveis no processo de geração de energia traz incertezas quanto aos impactos de sua utilização. O presente artigo apresenta uma simulação de um sistema com geração distribuída utilizando o software GridLAB-D com o objetivo de analisar uma rede de pequeno porte com e sem utilização de geração fotovoltaica.

Palavras-chaves — Geração Distribuída, GridLAB-D, Fotovoltaica, Micro rede, Simulação.

I. INTRODUÇÃO

Com a crescente integração tecnológica entre os diversos sistemas de geração e de armazenamento de energia elétrica, bem como o desenvolvimento acelerado de aplicações inteligentes, faz-se necessário a utilização de novas metodologias para a análise e o monitoramento dos Sistemas Elétricos de Potência (SEP) [1]. Nesse sentido, com a ampliação da utilização de Geração Distribuída (GD) em Sistemas de Distribuição de Média Tensão (SDMT), novos desafios operacionais são observados, como o aumento de custo das tecnologias e a necessidade de novos procedimentos de operação e de proteção [2].

A geração de origem solar é a que possui a menor participação em potência instalada entre as fontes utilizadas no Brasil, com apenas 0,01% do total [3]. Entretanto, estudos como [4] propõe que o potencial estimado de geração solar é equivalente a 2,3 vezes o consumo elétrico residencial em 2013, tratando-se de uma fonte de energia alternativa para a matriz energética brasileira. Assim, é interessante observar os impactos na rede de distribuição que a sua inserção pode ocasionar.

Desta forma, além das simulações tradicionais de fluxo de potência e de curto-circuito, são necessárias análises quanto ao comportamento dos sistemas de controle e de comunicação, o que implica no aumento da complexidade relativa à modelagem e verificação dos resultados. Adicionalmente a isso, testes extensivos são requeridos, principalmente quando se considera fontes intermitentes que possuem o comportamento dinâmico variado, como é o caso da fonte solar [5].

Diante desta situação diversos trabalhos são propostos com o intuito de verificar o comportamento da GD frente às diversas condições operacionais da rede [6-10]. Todavia, diante da complexidade das interações entre os vários sistemas

que compõem uma rede elétrica moderna, faz-se necessário a utilização de ferramentas computacionais que permitam avaliar de forma conjunta os distintos aspectos, incluindo as condições climáticas, os comportamentos dos sistemas elétricos de potência e da rede de telecomunicações [5].

Dentro desse contexto de utilização de plataformas para a análise operativa de um SEP, destaca-se as desenvolvidas para a simulação de micro redes, uma vez que estas ainda estão em fase de desenvolvimento e evolução. Em face a isto, diversas iniciativas estão sendo elaboradas ao redor do mundo para a elaboração de novos *softwares*, metodologias e ferramentas que possam estudar e analisar o comportamento dinâmico destes sistemas de modo fidedigno [11].

Dentre as alternativas já disponíveis, evidencia-se o *software* GridLAB-D, pois é voltado especificamente para aplicações de micro redes e possui uma gama de ferramentas integradas para gestão de dados de terceiros [11].

É importante salientar que a utilização de aplicativos específicos na análise de micro redes é essencial, visto que estas possuem um comportamento dinâmico que apresenta variações significativas em seus componentes ao longo do tempo, trazendo mais detalhadamente as informações de interesse e aceitando diversas formas de dados.

Este trabalho propõe analisar os resultados da modelagem no GridLAB-D. Para tanto, o modelo homologado IEEE 13 barras, acrescido de uma população de casas, foi utilizado como cenário base. Alguns parâmetros foram adicionados, variados e analisados e os resultados obtidos foram analisados. Destaca-se que esse estudo foi motivado pelo crescente desenvolvimento de tecnologias capazes de modelar e analisar as novas configurações do SEP.

II. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A GD é uma solução em potencial para os problemas enfrentados pelo sistema elétrico brasileiro e é caracterizada, principalmente, pela inserção de pequenos geradores de eletricidade em baixa tensão, normalmente próximos ao ponto de utilização final da energia [12].

Todavia, a disseminação desse tipo de gerador promove uma série de desafios técnicos, principalmente em face à complexidade das técnicas de controle e de monitoramento quando há um número significativo de micro geradores interconectados, bem como ao comportamento dinâmico do SD, que incluem os níveis de tensão e perdas técnicas [13-15].

Fig. 1 mostra uma micro rede composta de diversos micro geradores conectados a uma fonte principal, na qual observa-se os principais componentes que a constitui, incluindo um

dispositivo de proteção e de manobra. Além disso, é possível verificar que as cargas podem ser conectadas tanto diretamente à fonte principal quanto ligadas dentro da micro rede [16].

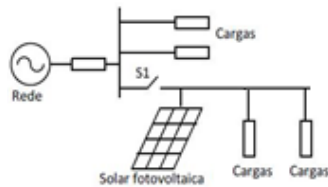


Fig. 1. Micro rede conectada a uma PAC.

III. ENERGIA FOTOVOLTAICA

Atualmente, é possível observar que 95% dos sistemas fotovoltaicos tratam-se de sistemas fotovoltaicos conectados à rede [4]. Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) podem ser centralizados em grandes usinas conectadas aos sistemas de distribuição ou transmissão ou descentralizados, no qual diversos sistemas são conectados ao sistema de distribuição nas próprias unidades consumidoras. O presente artigo traz a análise do segundo tipo de configuração, onde os painéis se encontrarão nas casas.

Sabe-se que a inserção dos SFCR pode ocasionar diversos impactos na QEE, uma vez que a inserção desses sistemas se baseia em eletrônica de potência. Desta forma, novos desafios operacionais relacionados à QEE surgem à medida que se aumenta a penetração dos SFCR. Dentre os principais impactos causados, pode-se destacar:

- Alteração no perfil de tensão;
- Flutuações de tensão.

É possível observar que a inserção da geração distribuída fotovoltaica pode causar um aumento nas perdas resistivas no sistema em penetrações relativamente baixas, assim como reduzir em penetrações muito altas [17].

IV. GRIDLAB-D

O GridLAB-D é um *software* de análise e de simulação de SEP que fornece informações valiosas aos usuários que projetam e operam SDMT, principalmente aos que desejam usufruir ao máximo das mais recentes tecnologias associadas às redes elétricas, em especial, de distribuição em média tensão.

Devido a isto, todas as partes de um sistema de distribuição podem ser analisadas de modo integrado ao longo do tempo, o que possibilita uma melhor tomada de decisão durante o projeto e o planejamento das redes elétricas, tornando-as mais eficientes no gerenciamento da demanda, o que melhora também a confiabilidade do sistema.

Para a realização da simulação com as diversas informações, o GridLAB-D é composto por diversos módulos capazes de modelar os equipamentos, sendo estes módulos dispostos em distintas topologias de redes, além de permitir a integração de dados financeiros e climatológicos de determinadas regiões.

Assim, dentre os vários módulos disponíveis, enfatiza-se o de fluxo de potência, pois permite as condições de carregamento mesmo em sistemas trifásicos desequilibrados. De forma prática, todos os objetos modelados permitem a

utilização de hierarquização, o que permite um maior controle da simulação, principalmente no que tange às fases das cargas e à tensão nominal da área no qual o sistema se encontra [18].

Entretanto, apesar das vantagens supracitadas, a maior vantagem de todas é a capacidade de modelar componentes não tradicionais de SEP, como construções (*residential module*), recursos distribuídos (*generator module*) e até mesmo o mercado financeiro [19]. Além disso, o GridLAB-D é capaz de capturar o comportamento dinâmico de seus componentes, os efeitos sazonais e simular sistemas de controle individuais dos dispositivos [20].

O *software* possui três métodos que possibilitam analisar o fluxo de potência ao longo da rede de distribuição simulada: o *Forward-Back Sweep* (FBS), o Gauss-Seidel (GS) e Newton-Raphson (NR). Todavia, em face ao tipo de simulação, o primeiro método foi escolhido no presente artigo, visto que o algoritmo NR implementado no *software* apresenta algumas limitações, como por exemplo, a inclusão de linhas imaginárias (sem comprimento).

Um aspecto importante do GridLAB-D, é que o *software* permite modelar a rede de distribuição com todos os parâmetros operacionais e técnicos, ou seja, pode-se incluir dados dos cabos, curvas de carga e sistemas de geração distribuída. Além disso, o processo de análise utilizando o GridLAB-D ocorre em dois estágios: 1) criação da rede e população de casas via arquivo GLM (*GridLAB-D Modeling*); 2) simulação. No primeiro estágio é gerado a rede de potência física a nível de distribuição para ser utilizado no GridLAB-D, e em seguida a sua simulação é realizada via *prompt* de comando.

V. SISTEMA SIMULADO

O sistema elétrico simulado utilizado é baseado no IEEE 13 barras, uma vez que este possui os parâmetros e resultados amplamente divulgados e validados na literatura, conforme Fig. 2. Todavia, é importante salientar que foi acrescida, ao sistema supracitado, a criação de uma população de casas pelo *software* GridLAB-D com o objetivo de verificar o comportamento da rede elétrica frente a inserção da geração fotovoltaica, bem como a capacidade de simulação do aplicativo.

Nesse sentido, três situações operativas foram consideradas no estudo realizado:

- Caso 1: IEEE 13 Barras: Análise dos dados do sistema sem cargas;
- Caso 2: IEEE 13 Barras com as casas: Análise dos dados do sistema com a criação da população pelo *software* e suas determinadas cargas;
- Caso 3: IEEE 13 Barras com geração distribuída: Análise dos dados do sistema com a inserção de fotovoltaica juntamente à população.

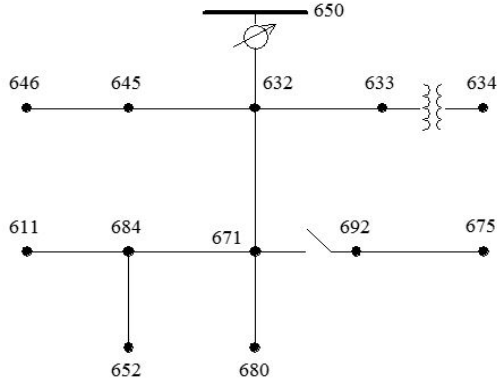


Fig. 2. Diagrama unifilar do IEEE 13 barras [21].

Nos Casos 2 e 3, 15 casas com diferentes demandas de água, eletricidade e aquecimento estão conectadas monofasicamente ao sistema de média tensão por meio de transformadores de distribuição de 75 kVA. A distribuição das casas ao longo do alimentador e as suas respectivas características estão dispostas conforme a Tabela I.

TABELA I - PARÂMETROS DAS CASAS.

N. Casa	Fase (120V)	Aquecimento		Água		N. Barra
		Demanda	Fator	Demanda	Fator	
1	CN	4	1,876	1	1,257	611
2	AN	2	-3,075	3	1,194	634
3	BN	2	-2,464	2	0,678	634
4	CN	5	-0,452	3	0,115	634
5	BN	2	-2,338	3	0,837	645
6	CN	3	1,896	1	1,303	645
7	BN	5	2,784	2	1,367	646
8	CN	2	-1,342	2	0,861	646
9	AN	5	0,140	3	0,930	652
10	AN	4	-3,454	3	0,896	675
11	BN	2	5,068	2	0,830	675
12	CN	1	5,980	3	1,050	675
13	AN	3	-1,274	2	1,068	692
14	BN	4	1,732	1	0,840	692
15	CN	2	2,090	3	0,774	692

É importante salientar que as curvas de demanda do aquecimento e do consumo água, da Tabela I, foram definidos de forma a proporcionar uma variedade nos perfis de carga, de modo que se aproxima ao observado em sistemas reais, conforme Fig. 3 e 4. Todavia, além da definição dos tipos do comportamento das curvas, um fator de variação foi adicionado ainda com o objetivo de diversificar o perfil de consumo de casa residência.

Além das cargas de aquecimento e de demanda de água, as casas possuem um perfil de carregamento ao longo do dia, cujos picos foram determinados de forma randomizada. A Fig. 6 apresenta a curva de carga utilizada nas casas modeladas neste trabalho. Tal curva é resultado da combinação de diferentes tipos de cargas e estão de acordo com (1) e (2) [19].

$$P_i = \frac{|V_a^2|}{|V_n^2|} \cdot |S_n| \cdot Z_{\%} \cdot \cos(Z_{\theta}) + \frac{|V_a|}{|V_n|} \cdot |S_n| \cdot I_{\%} \cdot \cos(I_{\theta}) + |S_n| \cdot P_{\%} \cdot \cos(P_{\theta}) \quad (1)$$

$$Q_i = \frac{|V_a^2|}{|V_n^2|} \cdot |S_n| \cdot Z_{\%} \cdot \sin(Z_{\theta}) + \frac{|V_a|}{|V_n|} \cdot |S_n| \cdot I_{\%} \cdot \sin(I_{\theta}) + |S_n| \cdot P_{\%} \cdot \sin(P_{\theta}) \quad (2)$$

nas quais: P_i é a potência ativa consumida pela carga; Q_i é a potência reativa consumida pela carga; V_a é a tensão atual nos terminais da carga; V_n é a tensão nominal da carga; S_n é a

potência aparente nominal da carga; $Z_{\%}$, $I_{\%}$ e $P_{\%}$ são os percentuais dos tipos de carga; e, Z_{θ} , I_{θ} e P_{θ} são os ângulos de fase dos tipos de carga. Nesse trabalho foram adotados: $Z_{\%} = 0,3$, $I_{\%} = 0,5$ e $P_{\%} = 0,2$ com os seguintes fatores de potência: $Z_{fp} = 0,8$, $I_{fp} = 0,6$ e $P_{fp} = 0,9$.

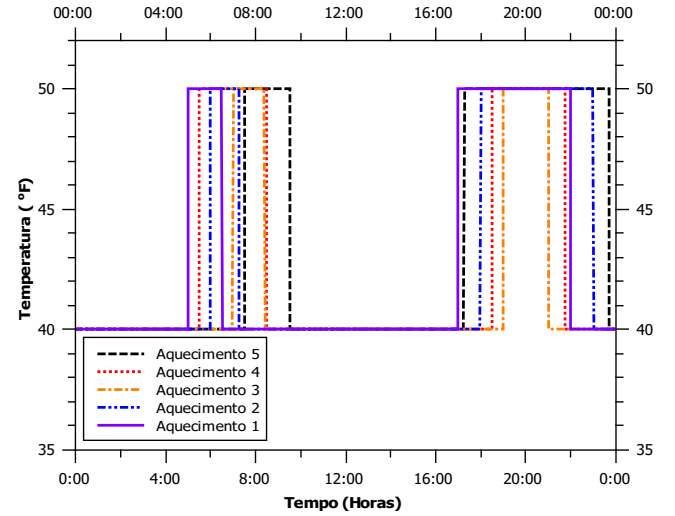


Fig. 3. Curva demanda de aquecimento.

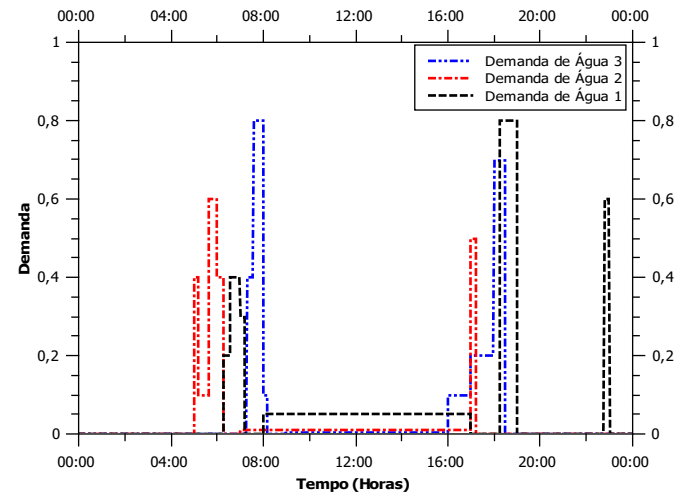


Fig. 4. Curva de demanda de água.

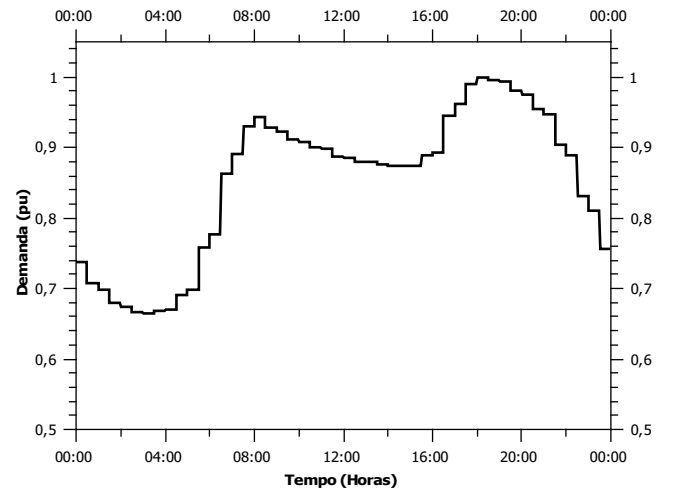


Fig. 5. Curva de carga das casas.

No Caso 3, onde são acrescentados os sistemas de geração fotovoltaica a cada casa, utilizou-se as premissas dispostas na Tabela II para a realização do estudo. É importante verificar que foi considerado, arbitrariamente, uma área dos painéis fotovoltaicos igual a 30% do montante total da casa.

TABELA II - PARÂMETROS DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA.

N. Painei	Área Casa (ft²)	FP Inversor	Área Painei Solar (ft²)	Eficiência Painei	N. Barra #
1	1300	1.0	390	0,2	611
2	2200	1.0	660	0,2	634
3	1900	1.0	570	0,2	634
4	1400	1.0	420	0,2	634
5	1730	1.0	519	0,2	645
6	1950	1.0	585	0,2	645
7	1590	1.0	477	0,2	646
8	1690	1.0	507	0,2	646
9	2480	1.0	744	0,2	652
10	1600	1.0	480	0,2	675
11	1230	1.0	369	0,2	675
12	1150	1.0	345	0,2	675
13	2050	1.0	615	0,2	692
14	1380	1.0	414	0,2	692
15	1620	1.0	486	0,2	692

Adicionalmente, e diante das situações operativas a serem avaliadas, três objetos foram utilizados de forma intensa durante o processo de verificação dos resultados: residencial (*houses*), solar e medidor (*recorder*).

A. Objeto Residencial

Os objetos residenciais se baseiam em um circuito de fluxo de calor, onde os parâmetros físicos de temperatura, condutância, massa térmica e outros são convertidos em equivalentes de tensão, condutância, capacitores, fluxo de corrente, etc. O objeto em destaque (*House*) representa uma típica unidade residencial nos Estados Unidos da América, já possuindo parâmetros básicos pré-definidos, mas com a capacidade de alterá-los conforme a necessidade da modelagem/simulação.

Outro ponto a ser ressaltado é o parâmetro *Triplex_meter*, o qual é responsável pela conexão da casa com o fluxo de potência e fornece as medidas do sistema em um ponto especificado. Em conjunto com um *Recorder*, ele é capaz de determinar, através da definição de propriedades, as medições das grandezas utilizadas no estudo.

B. Objeto Solar

Além da caracterização das casas, o objeto solar constitui um recurso importante no estudo de sistemas de Geração Distribuída, pois permite a inserção de sistemas fotovoltaicos na rede elétrica modelada com uma grande quantidade de opções, incluindo a influência climatológica e o tipo de placa a ser utilizado.

Tal recurso faz parte do módulo de geradores do GridLAB-D, e a sua implantação se dá, basicamente, no *Triplex_meter*, que inclui o objeto inversor. Neste último, são especificadas as características do inversor e a sua implementação quanto ao comportamento referente ao fluxo de carga.

O painel solar possui propriedades predefinidas, dentre as quais se encontram as que caracterizam a sua potência. Seu

potencial está relacionado com o tamanho do painel, o qual possui 30% do valor total da casa.

C. Objeto Recorder

O GridLAB-D utiliza a função *recorder* para coletar as informações definidas por suas propriedades e gerar as respostas desejadas. Desta forma, pode-se observar as potências e as tensões das casas (cargas) em face as condições operativas da rede, o que possibilita verificar se o excesso de geração está sendo injetado na rede.

VI. RESULTADOS

Após a definição dos casos a serem avaliados, o sistema foi modelado e os dados das 15 casas foram recolhidos e analisados. Todavia, a fim de apresentar os resultados de modo ilustrativo, foram escolhidas 3 casas conectadas no mesmo nó do sistema elétrico, mas em fases distintas. Desta forma, as casas escolhidas são a 10, 11 e 12, encontradas no nó 675 e que estão nas fases A, B e C, respectivamente.

A. IEEE 13 Barras

A Fig. 6 apresenta os níveis de tensão (em pu) nos secundários dos transformadores de distribuição (TDs) que alimentam as casas conectadas no barramento 675 do sistema IEEE 13 Barras. É possível notar que não há alteração nos resultados obtidos durante todo o período analisado, visto que não foram consideradas as demandas casas, ou seja, os TDs estavam em vazio.

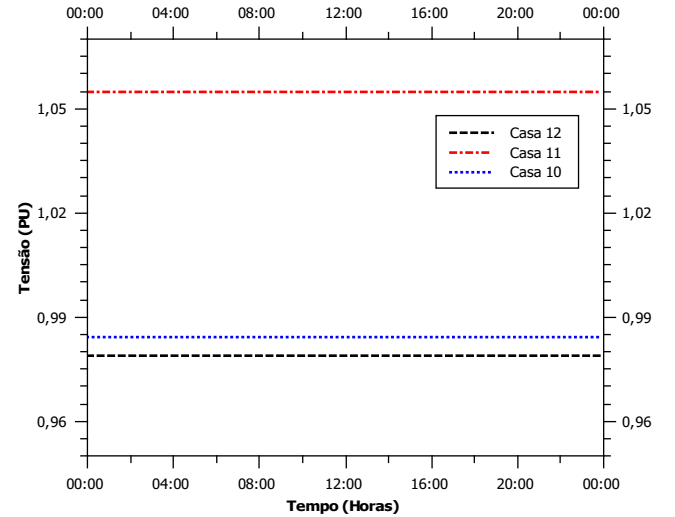


Fig. 6. Níveis de tensão do sistema IEEE 13 Barras.

B. IEEE 13 Barras com as casas

Com a determinação da condição em regime, adicionou-se as casas ao sistema e as variações de tensão foram medidas. É possível observar na Fig. 7 que os níveis de tensão variam em acordo com a demanda e, de maneira geral, ficaram entre 0,9 a 1,04.

É factível salientar que os resultados obtidos para todas as casas modeladas estão em acordo com o esperado, o que elucida a capacidade do *software* em trabalhar com grandes bases de dados.

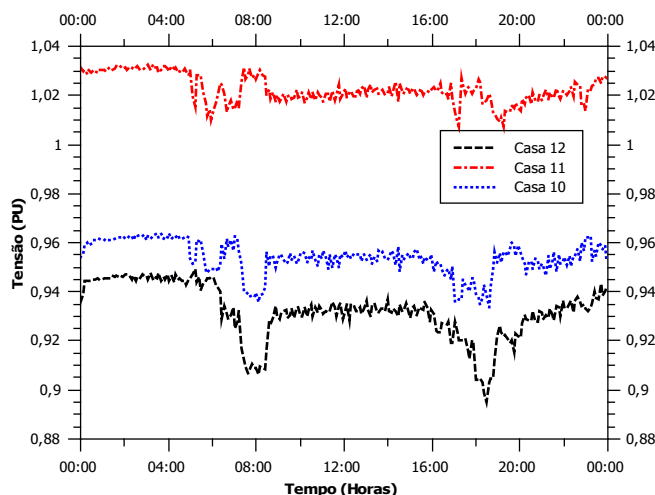


Fig. 7. Níveis de tensão do sistema com as casas.

C. Caso 3: IEEE 13 Barras com geração distribuída

Posteriormente, de forma a verificar o comportamento da geração fotovoltaica, os painéis solares foram adicionados no às casas. Tal situação operativa visa essencialmente verificar a possibilidade de estudos de geração distribuída monofásica em acordo com o observado em campo.

A Fig. 8 ilustra uma redução nas variações de tensão (em pu) durante o período de funcionamento do sistema fotovoltaico em relação ao observado no Caso 2. Além disso, é possível perceber também a diminuição do afundamento de tensão, o que contribui para a melhora dos indicadores da QEE.

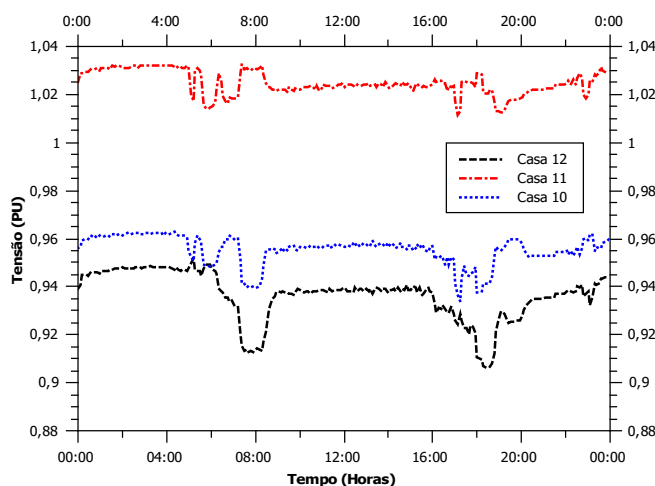


Fig. 8. Níveis de tensão do sistema com as casas e a geração distribuída.

Fig. 9 mostra um comparativo dos níveis de tensão com e sem geração distribuída de modo a facilitar a compreensão da inserção de sistemas de geração distribuída na rede. Outro aspecto verificado é que apesar da presença do GD e das melhoras nos níveis de tensão supracitados, o nível de desequilíbrio se manteve praticamente constante, uma vez que cada casa é conectada em uma fase.

Ademais, foram analisados os impactos nas demandas de potência do sistema frente a inserção da geração distribuída. Para tanto, os dados foram recolhidos nos transformadores de distribuição (em kVA), pois permitem uma análise mais próxima das observadas em campo.

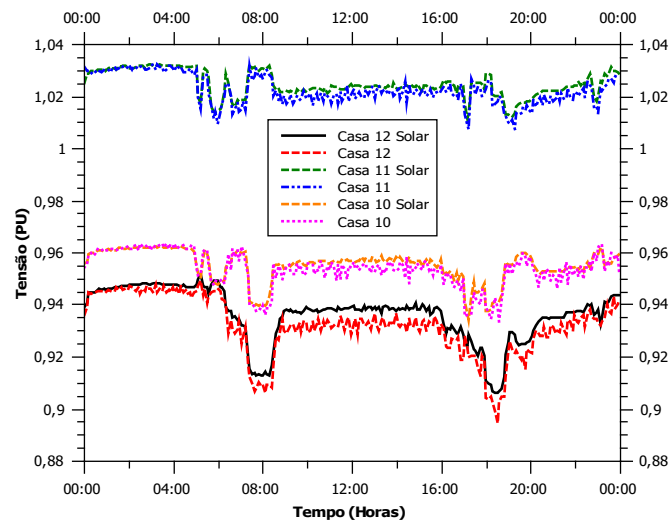


Fig. 9. Comparativo dos níveis de tensão do sistema com e sem a geração distribuída.

D. IEEE 13 Barras com as casas – Demanda

Uma observação inicial importante é que o sistema modelado sem a presença das casas não possui demanda, visto que as medições apresentadas nesse trabalho são referentes as casas, conforme supracitado.

Desta forma, a Fig. 10 apresenta as demandas resultantes das cargas presentes nas três casas analisadas. É possível identificar que as casas possuem dois picos de demanda, um no início da manhã e o outro no final da tarde, comportamento característico de uma residência.

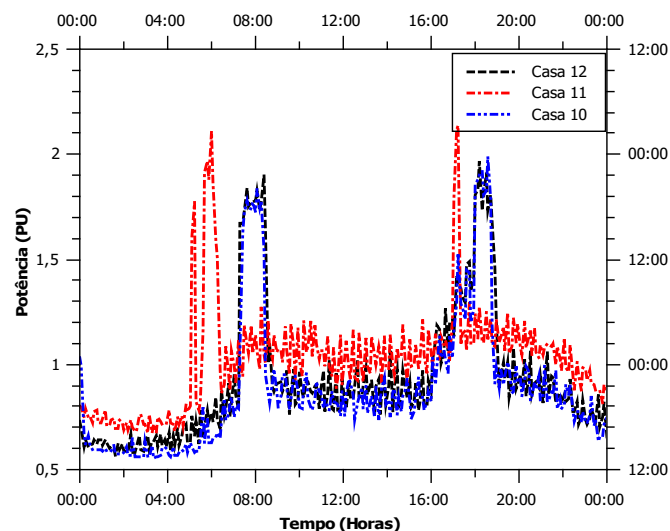


Fig. 10. Demandas consumidas pelas casas sem GD.

E. Caso 3: IEEE 13 Barras com GD – Demanda

Fig. 11 mostra as demandas solicitadas da rede elétrica pelas casas analisadas com a inserção da geração fotovoltaica. É possível perceber uma redução nessa solicitação, principalmente no que tange as variações ao longo do dia. Fig. 12 apresenta um comparativo das demandas referentes a Casa 10 considerando, ou não, a geração distribuída de modo a facilitar a observação dos resultados obtidos.

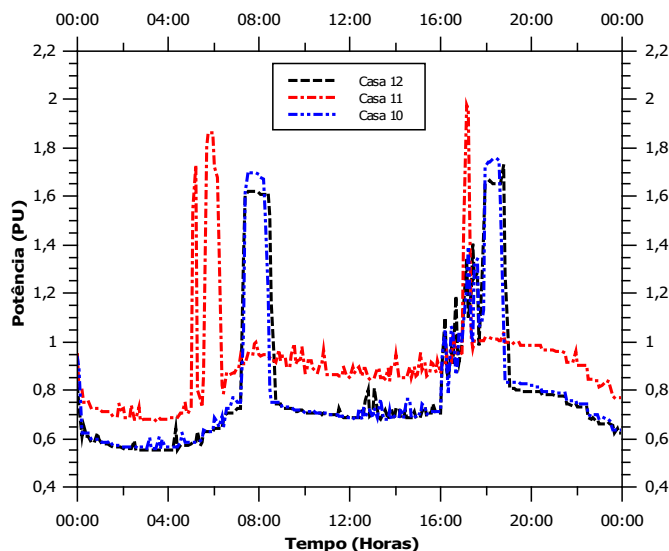


Fig. 11. Demandas consumidas pelas casas com GD.

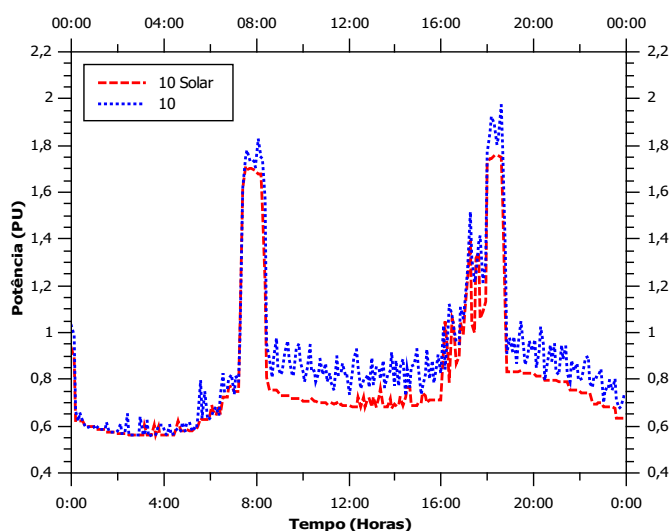


Fig. 12. Comparativo dos níveis de demanda da Casa 10.

VII. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados ilustram as características da inserção da energia fotovoltaica em um sistema de geração distribuída. Pode ser observado que a conexão dos painéis solares à rede de distribuição afetou significativamente os índices de tensão e de demanda, atenuando as respectivas variações e dessa forma melhorando os índices de QEE para o sistema simulado.

É importante salientar a capacidade de simulação do *software* escolhido para a modelagem de redes, visto que diversos parâmetros puderam ser ajustados em função da necessidade do usuário. Portanto, verificou-se que para estudos e simulações do comportamento de redes elétricas, o GridLAB-D já pode ser considerado uma ferramenta totalmente funcional e com grande aplicação real.

VIII. REFERÊNCIAS

- [1] United States Energy Independence and Security Act of 2007. One Hundred Tenth Congress of the United States of America. Title XIII – SMART GRID. [Online] pp 292-303, 2007. <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/BILLS-110hr6enr/pdf/BILLS-110hr6enr.pdf>
- [2] Carrasco, J.M.; Franquelo, L.G.; Bialasiewicz, J.T.; Galvan, E.; Guisado, R.C.P.; Prats, Ma.A.M.; Leon, J.I.; Moreno-Alfonso, N., “Power-Electronic Systems for the Grid Integration of Renewable Energy Sources: A Survey”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 53, no. 4, pp. 1002-1016, June 2006.
- [3] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, Banco de Informações de Geração – BIG. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/Combustivel.cfm>. Acesso em setembro de 2016.
- [4] EPE (Empresa de Pesquisa Energética), Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos, Nota técnica DEA 19/14, 2014.
- [5] T. M. Hansen, R. Kadavil, B. Palminier, S. Suryanarayanan, A. A. Maciejewski, H. J. Siegel, E. K. P. Chong, E. Hale, “Enabling Smart Grid Cosimulation Studies,” *IEEE Electrification Magazine*, vol. 4, pp. 25-32, 2016.
- [6] V. F. Reginaldo, M. S. Sidelmo, “Técnicas de controle utilizadas em micro redes de energia elétrica: uma revisão”. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, p. 6.
- [7] E. N. M. Silva, A. C. S. Júnior, K. S. de Jesus, A. B. Rodrigues, M. G. da Silva, “Avaliação Probabilística do impacto de GD Fotovoltaica e Eólica nos Índices de Desempenho da Rede de Distribuição”, Laboratório de Confiabilidade e Qualidade, DEE, Universidade Federal do Maranhão – UFMA, Campus Universitário do Bacanga, São Luís – MA, p. 6.
- [8] M. C. Falcão, D. P. Júnior, F. J. M. de Seixas, J. F. Resende, M. A. Lourenço, M. Haro, P. Couto, “Impacto da Geração Fotovoltaica Distribuída em Parâmetros da Qualidade da Energia Elétrica”, Laboratório de Eletrônica de Potência – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira – SP, p. 4.
- [9] T. M. Mendes, D. D. Ferreira, J. P. da Silva, B. H. G. Barbosa, C. A. Duque, “Monitoramento Multidimensional de Qualidade de Energia Elétrica para *Smart Grids*”, Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras, MG, Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Juiz de Fora, MG, p. 4.
- [10] M. G. Lopes, T. S. D. Ferreira, F. C. L. Trindade, W. Freitas, “Análise dos Impactos Técnicos Resultantes da Intermittência de Geração de Sistemas Fotovoltaicos na Qualidade da Tensão”, Departamento de Sistemas e Energia, Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP, p. 6.
- [11] E. C. Souza, P. R. S. Jota, S. Tavares, “Estudo da Ferramenta GridLAB-D para Simulação de Micro redes”. in CBA XX, Belo Horizonte – BH, 2014, pp.1879-1886.
- [12] G. Pepermans, J. Driesen, D. Haeseldonckx, R. Belmans, W. D’haeseleer, “Distributed generation: definition, benefits and issues”, *Energy Policy*, Vol.33, Issue 6, April, 2005; pp. 787-798.
- [13] T. L. Vandoorn, B. Zwaenepoel, J. D. M. De Koning, B. Meersman, L. Vandevelde, “Smart Microgrids and Virtual Power Plants in a Hierarchical Control Structure”, 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe), pp. 1-7, Dezembro 2011.
- [14] F. Katiraci, M. R. Iravani, P. W. Lehn, “Micro-grid autonomous operation during and subsequent to islanding process”, *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 20, n. 1, pp. 248-257, Janeiro 2006.
- [15] P. Piagi, R. H. Lasseter, “Autonomous Control of Microgrids”, IEEE Power Engineering Society General Meeting, Junho 2006.
- [16] I. Vechiu, A. Llaria, O. Curea, H. Camblong. “Control of Power Converters for Microgrids”. EVRE 2009 – Ecologic Vehicles Renewable Energies. Monaco, 2009.
- [17] Cohen, M. A., Callaway, D. S., “Effects of distributed PV generation on California’s distribution system, Part 1: Engineering simulations”, *Sol. Energy* (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2016.01.002>, p. 13.
- [18] GridLAB-D. [Online]. <http://www.gridlabd.org>.
- [19] Chassin, David (2007). GridLAB-D developer documentaion. Gridlabd.org [Online] 2007. <http://www.gridlab.org/doxygen/1.1/index.html>
- [20] Schneider, Kevin. 2012. Overview of GridLAB-D Analysis Capabilities. http://sourceforge.net/apps/mediawiki/gridlab-d/index.php?title=Class_schedule.
- [21] Distribution Test Feeders: IEEE 13 Node Test Feeder. Disponível em <https://ewh.ieee.org/soc/pes/dsacom/testfeeders/>. Acesso em 01 de nov de 2016.