

## Estudo da Máxima Capacidade de Acomodação de Geração Distribuída de uma Rede de Distribuição em um Campus Universitário

Ana C. B. Gontijo\* Paulo Radatz\*\* Bruna R. P. Conrado\*  
Lucas S. Texeira\* Hélio M. A. Antunes\*\*\* Braz de J. C. Filho\*  
Sidelmo M. Silva\*

\* Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, CEP 31270-901

(e-mail: anacgontijo@ufmg.br, brunarconrado@ufmg.br,  
lucas98texeira@ufmg.br, sidelmo@ufmg.br)

\*\* Electric Power Research Institute (EPRI)  
(e-mail: pradatz@epri.com)

\*\*\* Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo - ES, CEP 29075-910  
(e-mail: helio.antunes@ufes.br)

**Abstract:** The present work aims to estimate the hosting capacity for the generation when considering the voltage metrics of a university campus' distribution system. The voltage thresholds are established by Prodinst module 8. Computational tools were used to analyze and define the good possibilities to make the most efficient use of available energy potential.

**Resumo:** O presente trabalho tem por objetivo realizar a avaliação do limite máximo de inserção de geração distribuída na rede elétrica de um campus universitário, de modo a não violar os limites de tensão estabelecidos pelo Prodinst Módulo 8. Foram utilizadas ferramentas computacionais para as análises e definições das possibilidades para aproveitar de modo mais eficiente o potencial energético disponível.

**Keywords:** distributed generation; hosting capacity; fotovoltaic generation; power systems; OpenDSS.

**Palavras-chaves:** geração distribuída; capacidade de hospedagem; geração fotovoltaica; sistemas de potência; OpenDSS.

### 1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica se tornou essencial e indispensável para a vida humana. Com o crescimento populacional e o desenvolvimento de novas tecnologias, gerou-se portanto, um aumento contínuo na demanda por energia elétrica. Em contrapartida, tem-se a finitude dos recursos não renováveis que são utilizados para geração de energia elétrica em todo o mundo. O carvão e o gás natural, são as duas principais fontes da matriz elétrica mundial, representando um percentual de 61% (IEA, 2020). O Brasil possui a composição da matriz oposta à tendência mundial, conforme apresentada na Fig. 1. Neste gráfico, é possível observar que 65,2% da geração de energia elétrica advém de fonte hidráulica, considerada renovável (EPE, 2020).

Desde 2012, uma modalidade de geração que tem intensificado seu crescimento é a GD (Geração Distribuída). A GD (Geração Distribuída) foi regulamentada no Brasil através da Resolução Normativa REN-482 MME/EPE (2020), na qual permitiu-se aos consumidores produzirem sua própria energia elétrica e terem a alternativa de injetar o excedente

\* Agradecimento a Fundep/UFMG pelo suporte financeiro ao projeto.

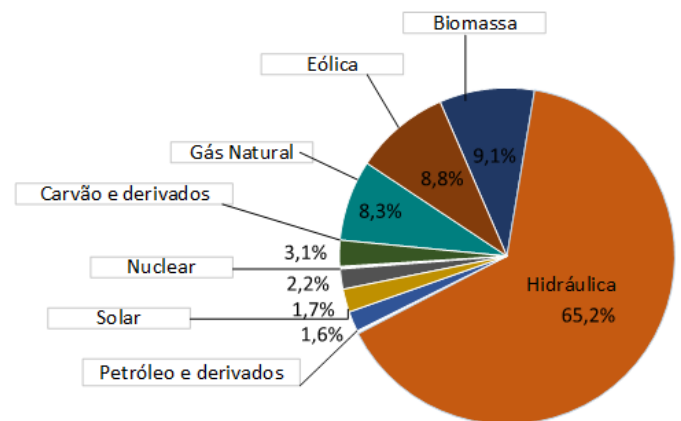


Fig 1. Matriz elétrica Brasileira (EPE, 2020).

gerado na rede elétrica obtendo abatimento em futuras contas de energia. Neste contexto ao invés de grandes usinas localizadas em locais distantes e que demandavam altos investimentos para transmissão da energia elétrica gerada, dá-se lugar ao modelo de geração próxima aos consumidores.

De acordo com informações do MME/EPE (2020), o Plano Nacional de Energia indica que na perspectiva positiva de investimento ou na estagnação, a geração fotovoltaica representa a principal fonte para a modalidade de recursos distribuídos, conforme ilustrado nas Fig. 2 e Fig 3.

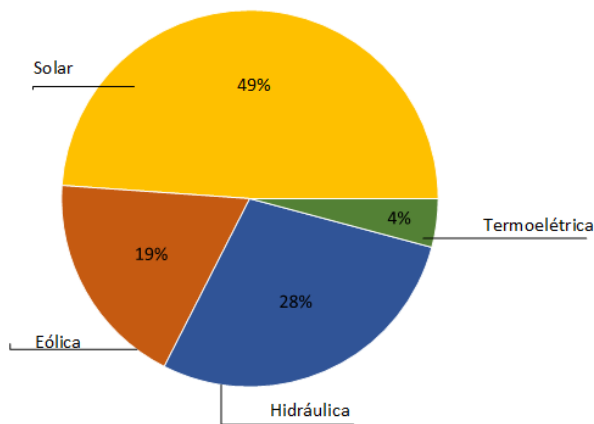


Fig 2. Projeção para GD com um cenário otimista (MME/EPE, 2020).

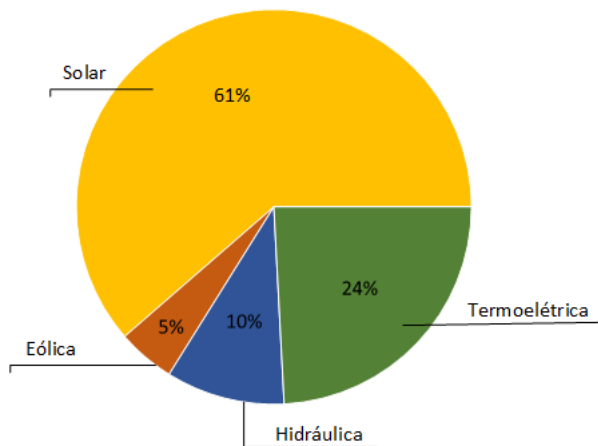


Fig 3. Projeção para GD com cenário de estagnação (MME/EPE, 2020).

O excesso de geradores distribuídos pode se tornar problemático devido a alguns fatores. O primeiro está ligado ao fato de que a fonte fotovoltaica é do tipo intermitente, portanto, pode haver grande volume de geração em alguns momentos e redução brusca em outros, o que gera a necessidade de se ter usinas a partir de outras fontes ou armazenadores de energia para serem acionados durante estes períodos. Já o segundo fator ocorre devido ao momento em que ocorre a maior geração normalmente não coincidir com o instante de maior demanda no sistema. Isso pode levar à violação de índices da QEE (Qualidade de Energia Elétrica), devido ao fluxo reverso de potência que pode ser gerado no sistema.

O termo *hosting capacity* foi utilizado pela primeira vez em 2004 por Andre Even, mas a expressão foi refinada por Bollen and Hassan (2011) e teve sua aplicação direcionada para a área de sistemas de energia elétrica após 2011. Este termo define o limite máximo de acomodação de GD (Geração Distribuída) na rede elétrica, sem violar os padrões de QEE (Qualidade de Energia Elétrica). Deve ser

ressaltado que o valor deve ser calculado individualmente para cada rede e para cada índice de QEE (Qualidade de Energia Elétrica), devido a diversas particularidades, conforme apresentando em (EPRI, 2022). Conforme mostrado na Fig. 4, a GD (Geração Distribuída) tem potencial para melhorar padrões de QEE (Qualidade de Energia Elétrica) caso seja respeitado o limite máximo que a rede em questão é capaz de comportar. Porém, caso o limite exceda o calculado, haverá violações da QEE (Qualidade de Energia Elétrica) podendo ocorrer o fenômeno mais comum que é a sobretensão.

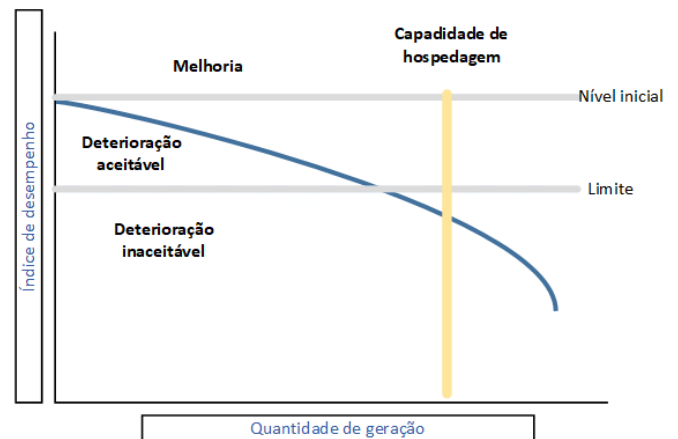


Fig 4. Curva *Hosting Capacity* (Ismael *et al.*, 2019).

Uma alternativa já validada para problemas de QEE (Qualidade de Energia Elétrica) de tensões é a injeção de potência reativa, e reajuste nos comutadores dos transformadores com o objetivo de controlar a sobretensão de acordo com (Papathanassiou *et al.*, 2011). Em redes com perfil desequilibrado, a violação da tensão pode ocorrer devido à localização, à classificação, e à quantidade de GD (Geração Distribuída). Deste modo, o estudo do limite de acomodação deve englobar diversos fatores.

Este artigo apresenta o estudo da rede elétrica do campus universitário com o objetivo de analisar as influências da GD (Geração Distribuída) nos padrões de QEE (Qualidade de Energia Elétrica) como sobretensão, desequilíbrio de tensão e perdas. A rede elétrica foi modelada no programa *OpenDSS* e a simulação foi conduzida pela linguagem de programação *Python*.

O artigo está dividido em cinco seções. A Seção 2 apresenta os indicadores escolhidos para se realizar a análise do limite de acomodação de geração do sistema. Na Seção 3 é apresentado o sistema do campus universitário que foi analisado. Na Seção 4 são apresentados os resultados obtidos através das simulações e por fim na Seção 5, discorre sobre as considerações finais deste trabalho.

## 2. INDICADORES

A QEE (Qualidade de Energia Elétrica) tem por objetivo estabelecer valores para variáveis essenciais de modo que o funcionamento dos equipamentos ocorra com qualidade e segurança.

O fluxo de potência reverso é uma importante consequência devido ao excesso de geradores distribuídos em momentos que há mais geração do que demanda na rede

elétrica (Ismael *et al.*, 2019). Do fluxo de potência reverso deriva outros problemas como sobretensão e desequilíbrio de tensão (Papathanassiou *et al.*, 2011). No Prodist (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional) Módulo 8 são definidos os valores permitidos pela ANEEL (2012), e os mesmo estão apresentados na Tabela 1.

**Tab. 1. Valores limites para avaliação da QEE (ANEEL, 2012).**

Distúrbio	Tensão (pu)	Observação
Sobretensão	$= < 1,05$	$1kV \leq V_n \leq 69kV$
Desequilíbrio de tensão	2%	$1kV = < V_n < = 230kV$

### 2.1 Desequilíbrio de tensão

O desequilíbrio de tensão se caracteriza pela diferença de amplitude entre as três fases da tensão em um sistema trifásico e/ou variação na defasagem de  $120^\circ$  da mesmas (ANEEL, 2012). O tipo de conexão da GD (Geração Distribuída) tem relação direta com o desequilíbrio de tensão, pois conexões monofásicas ou bifásicas podem sobrecarregar algumas fases do sistema gerando este desequilíbrio (Schwanz, Ronnberg, and Bollen, 2017). As equações utilizadas para o cálculo do desequilíbrio de tensão, conforme Prodist (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional) Módulo 8 ANEEL (2012), são:

$$FD\% = 100 * \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} \quad (1)$$

$$\beta = \frac{Vab^4 + Vbc^4 + Vca^4}{(Vab^2 + Vbc^2 + Vca^2)^2} \quad (2)$$

### 2.2 Sobretensão

A sobretensão pode ser causado pelo elevado fluxo de potência reverso, que por sua vez acontece em momentos que existe uma elevada geração e um baixo consumo de energia. As intermitências de fontes como eólica e solar podem intensificar as variações na tensão do sistema. (Ismael *et al.*, 2019).

## 3. MODELAGEM DA REDE DO CAMPUS UNIVERSITÁRIO

O estudo de caso avalia as potências diárias de três alimentadores do campus universitário para diferentes cenários de potência instalada. Os alimentadores são representados por BHMR27, BHMR11 e BHAD21, conforme mostrados na Fig. 5. A tensão de alimentação destes é em média tensão de 13,8kV.

### 3.1 Modelagem no Software OpenDSS

Cada alimentador é modelado de forma independente e os dados utilizados estão apresentados na Tabela 2.

Os alimentadores BHMR27, BHMR11 e BHAD21 apresentam demanda máxima de 9,958; 1,55 e 2,115 MW, respectivamente. Os alimentadores apresentam controle

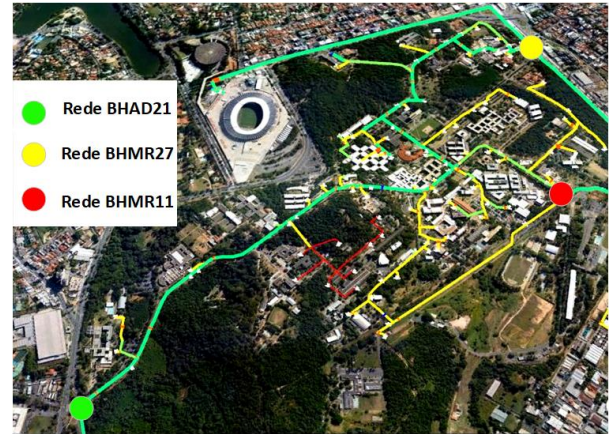


Fig 5. Rede elétrica do campus no Maps.

**Tab. 2. Parâmetros elétricos da rede de distribuição em estudo**

Circuito	Base KV	Potência de Curto-Circuito Trifásico (MVA)	Potência de Curto-Circuito Monofásico (MVA)
BHMR27	13,8	183,94	66,07
BHMR11	13,8	106,5	32,62
BHAD21	13,8	114,75	29,96

de tensão por meio de reguladores de tensão e banco de capacitores.

O consumo diário das cargas foi definido por meio de curvas de cargas típicas para um dia útil, conforme Fig. 6. Os dados das seis curvas de cargas foram fornecidos pela concessionária de energia, porém os mesmos são referentes ao ano de 2019, devido as particularidades ocorridas em 2020 (Teixeira, 2021).

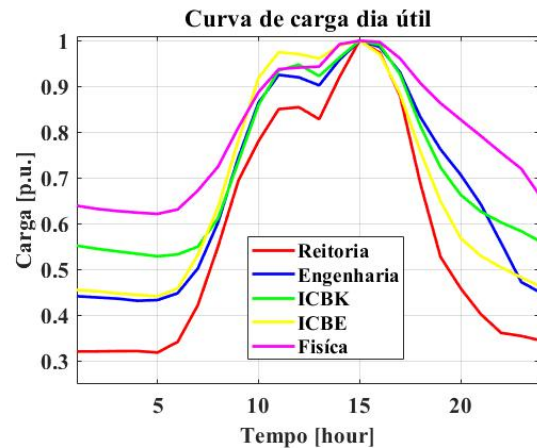


Fig 6. Curva de carga típica para um dia útil.

O sistema de GD (Geração Distribuída) para ao campus universitário prevê a instalação de três sistemas fotovoltaicos totalizando 500 kWp, cinco microturbinas a gás de 65 kW com cogeração, e um sistema de armazenamento em baterias. Os locais onde serão conectados os elementos estão apresentados na Fig. 7.

*Sistema de armazenamento de energia:* A utilização dos armazenadores de energia têm por objetivo armazenar a energia elétrica gerada durante o dia pelas usinas fotovoltaicas e injetar a mesma no horário de ponta. O

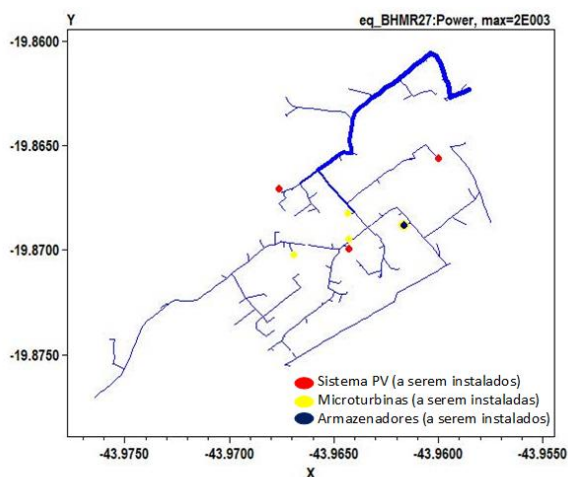


Fig 7. Localização dos sistemas fotovoltaicos, microturbinas e armazenadores

armazenamento têm os benefícios de aumentar o retorno financeiro e a usabilidade dos equipamentos (CPGEHA-UFGM, 2019). Para o sistema analisado foi previsto a instalação de sistema de armazenamento de energia elétrica com capacidade de potência nominal de 1000 kW e capacidade de armazenamento de 3000 kWh. A curva de utilização do sistema de armazenamento foi definido conforme a Fig. 8.

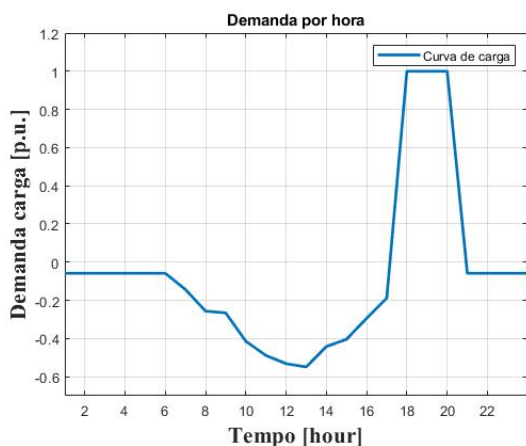


Fig 8. Curva de carga sistema de armazenamento

No *OpenDSS* foi definido o ponto de instalação do sistema de armazenamento na Escola de Engenharia do Campus Universitário, devido ao consumo deste prédio, sendo localizado no alimentador BH MR-11 (Teixeira, 2021).

**Microturbinas:** A geração de energia através de microturbinas a gás torna-se uma alternativa em situações onde há demanda contínua de energia e em pequena escala. O sistema de microturbinas é compacto, tem alta densidade de potência e pode ser utilizado em modo isolado ou conectado à rede, para mais informações consultar (CPGEHA-UFGM, 2019).

A GD (Geração Distribuída) com microturbinas se destaca quando comparada a outras formas de geração devido à possibilidade de operar continuamente, pois não depende de uma fonte intermitente como o sol. Além disso o combustível pode ser gasoso ou líquido, com custo de

manutenção baixo e pequena demanda de espaço para sua instalação. Em contrapartida tem-se o custo para aquisição da solução que normalmente é elevado devido a tecnologia empregada (Filho, 2021).

No projeto do campus universitário prevê-se a instalação de microturbinas com cogeração, na qual a carga térmica gerada pelo sistema será utilizada para aquecimento da piscina do complexo de esportes e também auxiliará no sistema de refrigeração e climatização dos prédios nos quais as turbinas serão instaladas conforme a Tabela 3. Destaca-se que serão instaladas duas microturbinas no alimentador BH MR-27, duas no BH MR-11 e apenas uma no BH AD-21

**Tab. 3. Características elétricas da microturbinas a gás que serão instaladas no campus universitário.**

Local	Nº de micro turbinas	Potência elétrica instalada (kW)	Produção energia elétrica (kW) Estimativa	Produção energia térmica (kW) Estimativa
Escola de engenharia	2	130	116,6	124
FUMP Setorial II	1	65	58,3	62
Centro de Microscopia	1	65	58,3	62
Instituto de Ciências Exatas (ICEX)	1	65	58,3	62

**Sistema Fotovoltaico:** Através de estudos realizados foi comprovado que a geração de energia solar fotovoltaica era uma alternativa viável para o campus universitário visto os espaços livres no telhado, a proximidade entre consumidor e carga, além do potencial modular e escalável desta fonte. Para definição dos pontos onde os sistemas seriam instalados foram realizadas as análises e constatou-se que 48 edificações da unidade, correspondendo a uma área de 219,327 m<sup>2</sup> têm potencial de geração de 31 MWp ou seja 48,264 kWh/ano (CPGEHA-UFGM, 2019).

As informações relevantes como radiação solar e temperatura foram obtidas através da plataforma *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA, 2020). A curva de temperatura, ilustrada na Fig. 9, e a curva de irradiância ilustrada na Fig. 10 são utilizadas na modelagem, conforme (Freitas, 2015).

O projeto que está sendo analisando neste trabalho é composto por três usinas fotovoltaicas, totalizando 500 kWp sendo divididos conforme apresentado na Tabela 4. Ressalta-se que as três usinas propostas serão instaladas no alimentador BH MR-27.

**Tab. 4. Usinas Fotovoltaicas.**

Local	Potência prevista (kWp)	Área para instalação (m <sup>2</sup> )
CAD 1	129,07	856
CAD2	223,9	1.552
CAD3	146,8	925
TOTAL	500,0	3.333

#### 4. ESTUDO DE CASO E RESULTADOS

Com o objetivo de avaliar o comportamento da rede analisada foi utilizado a integração entre *OpenDSS* e *Python* de

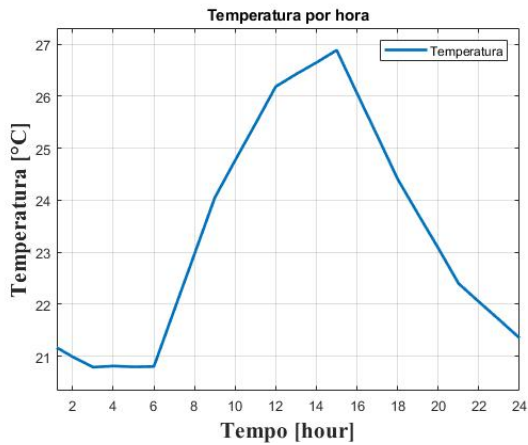


Fig 9. Curva de temperatura diária

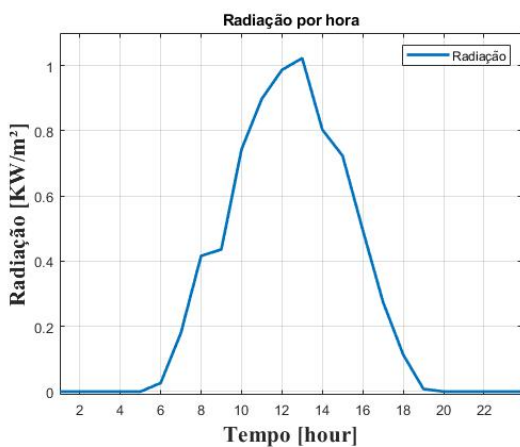


Fig 10. Curva radiação diária

modo a simular o limite máximo de acomodação da rede elétrica em análise aos indicadores de tensão sendo sobretensão e desequilíbrio de tensão, além do comportamento das perdas no sistema.

O limite máximo de tensão aceitável foi de 1,05 p.u., o mínimo de 0,93 p.u., e o desequilíbrio limitado em 2%, seguindo a normativa (ANEEL, 2012). Para a simulação foram definidos determinados cenários para ser analisado o comportamento da rede elétrica com a variação dos mesmos, conforme mostrado na Tabela 5. Em todos os cenários foi considerando a demanda máxima de carga no sistema de 20% dos valores apresentados nas curvas de carga apresentada na Fig. 6, pois o momento mais crítico é quando há máxima geração e carga mínima. Como o sistema elétrico analisado é equilibrado foi analisado apenas a Fase A do mesmo, as curvas de potência ativa e reativa apresentam os valores trifásicos do sistema.

Tab. 5. Situações simuladas

Condição	Característica	Potência de GD (KW)
Caso A	Sistema sem GD	0
Caso B	Sistema com 3 sistemas fotovoltaicos, 5 microturbinas, e 1 sistema de armazenamento	792,5
Caso C	Todos elementos do item B junto ao limite máximo da rede	38.400

Nas Fig. 11, Fig. 12 e Fig 13 são ilustradas as curvas de potência ativa, reativa, tensão do campus universitário sem nenhuma injeção de GD (Geração Distribuída), sendo a situação atual do local.

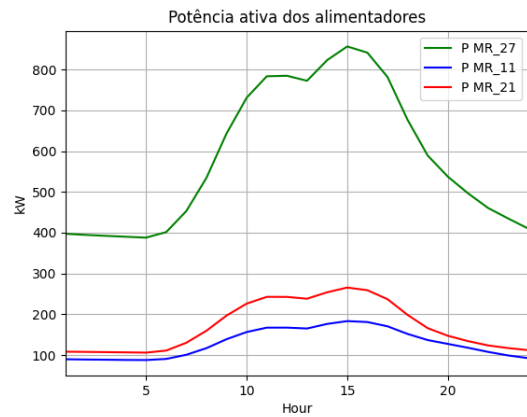


Fig 11. Potência ativa trifásica nos alimentadores sem GD

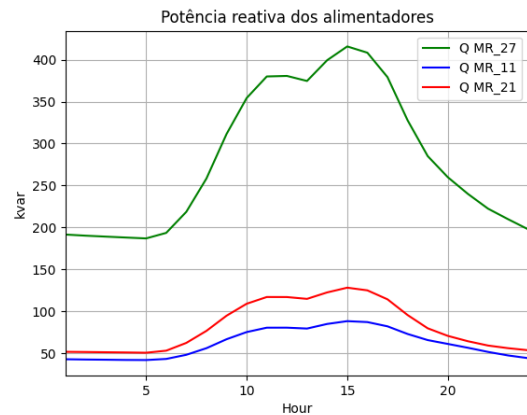


Fig 12. Potência reativa trifásica nos alimentadores sem GD

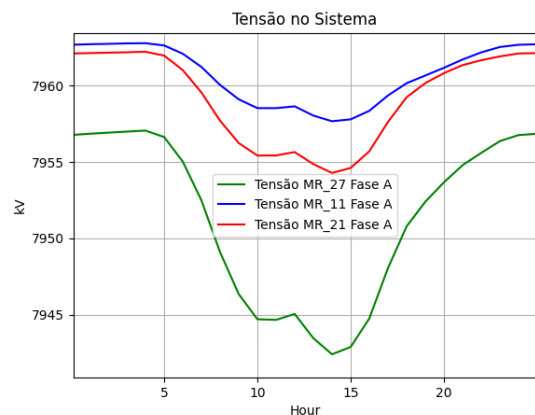


Fig 13. Tensão nos alimentadores sem GD

Pode-se constatar que no momento de maior demanda de carga principalmente no alimentador BH MR-27 ocorre uma queda na tensão para se compensar o aumento da corrente porém não há violação no critério de subtensão.

Portanto destaca que a queda de tensão é comum em sistemas onde não há GD (Geração Distribuída).

Nas Fig. 14, Fig 15 e Fig 16 estão ilustrados o comportamento da rede elétrica do campus após a injeção de GD (Geração Distribuída). Como o potencial injetado não tem a capacidade de suprir toda a demanda energética ainda há consumo na rede. A penetração de GD (Geração Distribuída) foi de aproximadamente 825 kVA.

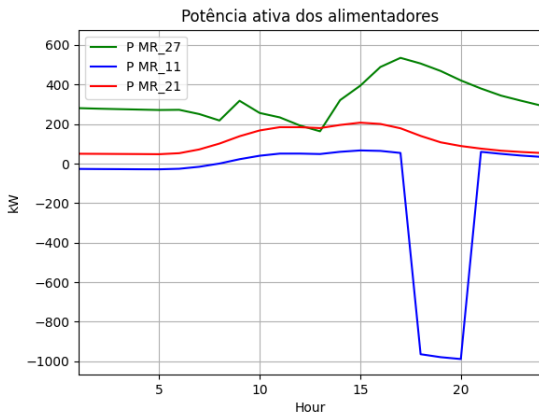


Fig 14. Potência ativa trifásica nos alimentadores GD prevista

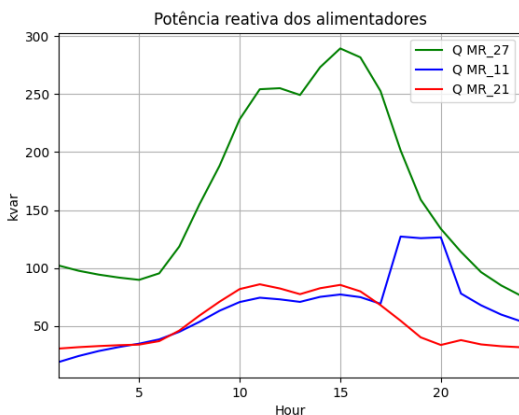


Fig 15. Potência reativa trifásica nos alimentadores GD prevista

Nessa perspectiva pode-se constatar que a injeção de GD (Geração Distribuída) produziu melhoras nos índices de potência ativa e na faixa de variação de tensão do sistema. O degrau presente nas formas de onda referente ao alimentador BH MR-11 deve-se ao sistema de armazenamento, pois coincide com o momento em que o mesmo inicia a injeção de energia na rede.

Finalmente na Fig. 17 apresenta-se o campus universitário com o máximo de sistemas fotovoltaicos que o mesmo comporta sem violar os padrões de QEE (Qualidade de Energia Elétrica), juntos dos sistema já contemplados na Fig. 7. Neste cenário foi acrescentado todas as potenciais usinas fotovoltaicas analisadas que o campus comporta em telhados, sendo um total de 5,43 MWp. O limite máximo de penetração fotovoltaica que o sistema comportou foi de 38,4 MVA até ocorrer a violação de sobretensão.

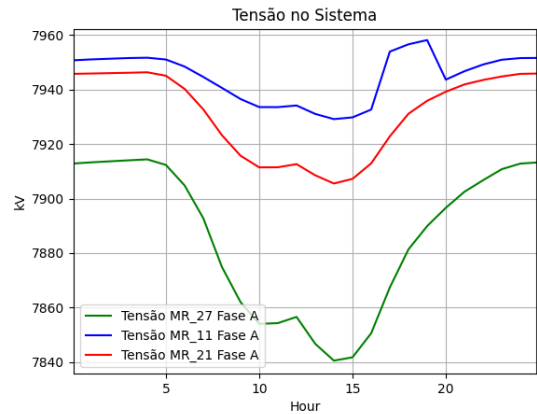


Fig 16. Tensão nos alimentadores com GD prevista

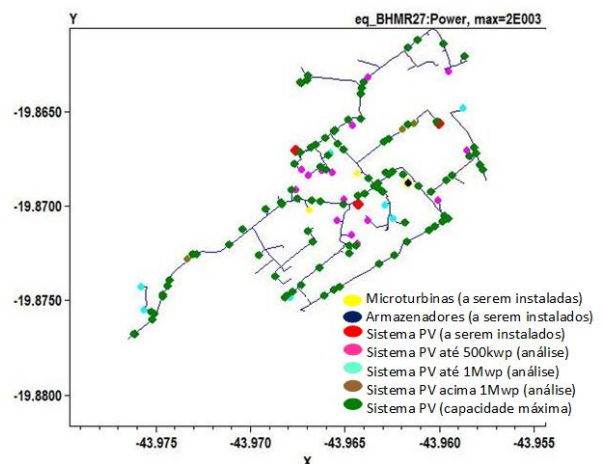


Fig 17. Sistemas anterior com máximo de PV

Nas Fig. 18, Fig19, Fig20 e Fig21 estão ilustrados o comportamento da potência ativa e reativa, junto da tensão da rede elétrica do campus após a injeção máxima de GD (Geração Distribuída). Foi considerado a GD (Geração Distribuída) máxima e carga mínima no campus, e o primeiro critério a ser violado foi a sobretensão.

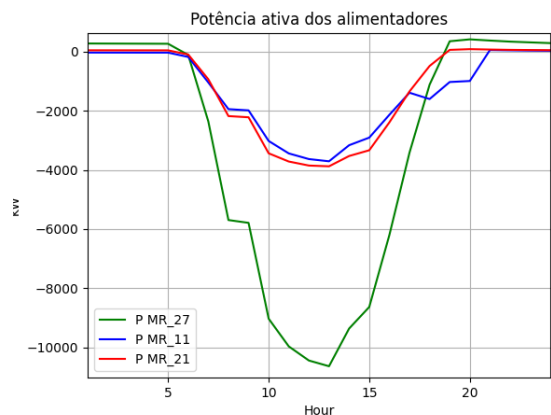


Fig 18. Potência ativa trifásica nos alimentadores com GD máxima

No caso C consta-se que o sistema irá injetar potência ativa na rede durante o período de geração fotovoltaica e

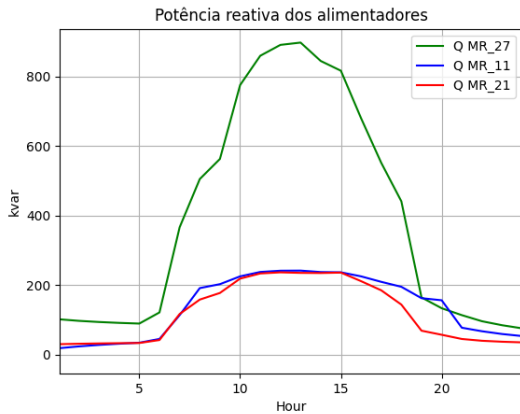


Fig. 19. Potência reativa trifásica nos alimentadores com GD máxima

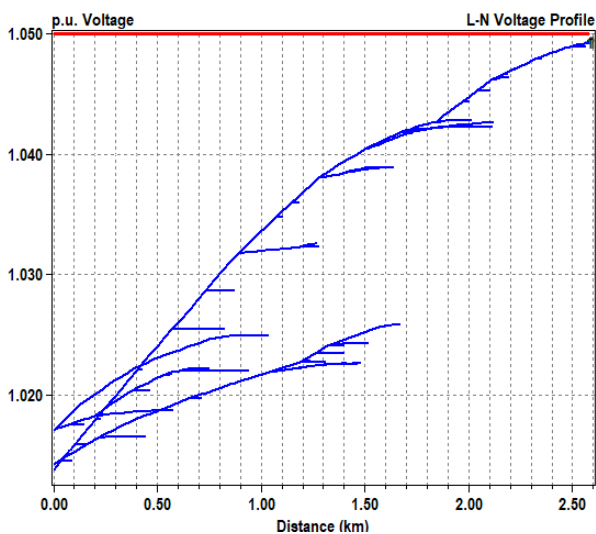


Fig. 20. Perfil de tensão dos alimentadores com GD máxima

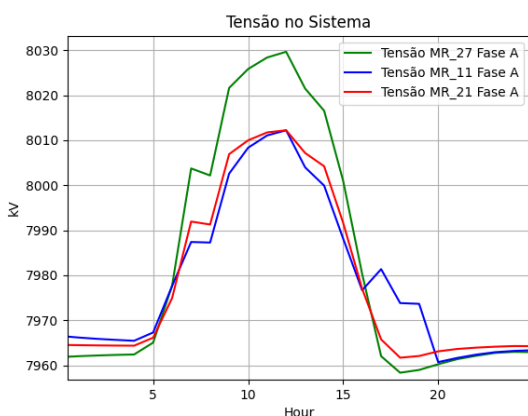


Fig. 21. Tensão nos alimentadores com GD máxima

haverá consumo da rede da concessionária fora do período de geração. O degrau devido ao sistema de armazenamento neste caso é amenizado devido ao volume de GD (Geração Distribuída). A potência reativa aumenta devido ao sistema ter fator de potência unitário e com isso não haver compensação de reativos na rede. O fenômeno da sobre-

tensão ocorre no alimentador BH MR-27 conforme pode-se observar pelas Fig. 20 e Fig 21, outro fato importante é que a barra que viola a tensão se encontra o mais distante possível do alimentador.

A última análise realizada foi relativa as perdas no sistema, sendo que diante da Tabela 6 o melhor caso foi o B onde houve injeção de GD (Geração Distribuída) mas sem excesso.

Tab. 6. Perdas no sistema elétrico

Condição	Valor (MW)	Valor (MVar)
Perdas - caso A	$0,429 \times 10^{-3}$	$-2,15 \times 10^{-3}$
Perdas - caso B	$0,351 \times 10^{-3}$	$-1,83 \times 10^{-3}$
Perdas - caso C	$55,7 \times 10^{-3}$	$79,97 \times 10^{-3}$

## 5. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou a união de duas ferramentas sendo o *OpenDSS* e o *Python* como forma de permitir o cálculo do limite de acomodação de GD (Geração Distribuída) na rede elétrica. Ressalta-se que esta análise deve ser feita individualmente em cada rede a qual se deseja definir os valores, pois a quantidade de carga e os padrões da própria rede interferem diretamente nos resultados obtidos. Ressalta-se que o estudo da rede elétrica é complexo e demanda inúmeros dados que podem ser difíceis de coletar, porém este trabalho é essencial para que a QEE (Qualidade de Energia Elétrica) não seja deteriorada devido a inserção de GD (Geração Distribuída).

Desse modo conforme era esperado o primeiro limite de QEE (Qualidade de Energia Elétrica) violado foi o de sobretensão, sendo este o mais prejudicado nos casos de inserção de GD (Geração Distribuída). O desequilíbrio de tensão não foi detectado devido ao sistema ser equilibrado, não contendo sistemas de GD (Geração Distribuída) e nem cargas dos tipos monofásicas e/ou bifásicas.

A GD (Geração Distribuída) tem potencial de melhorar o sistema elétrico desde que seja respeitado o limite máximo da rede conforme foi constatado, houve melhora na variação dos valores de tensão, redução da potência reativa no sistema e ainda melhora nas perdas da rede. Portanto a injeção de potência advindo de GD (Geração Distribuída) pode contribuir com a rede elétrica melhorando os índices de QEE (Qualidade de Energia Elétrica) e suprimindo a demanda de energia elétrica em crescimento.

## AGRADECIMENTOS

Os autores desse trabalho agradecem à UFMG e à FUN-DEP, pelo apoio financeiro, por meio do Projeto Minirrede Oasis. Agradecemos também à FAPEMIG, CAPES e CNPq, além do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da UFMG.

## REFERÊNCIAS

- ANEEL-Agência Nacional de Energia Elétrica. Prodist (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional) Modulo 8. 2018 .
- IEA -Internacional Energy Agency. Global Energy Review 2020, IEA, Paris. 2021 .

- EPE -Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Nacional de Energético. Brasília. 2021.
- MME- Ministério de Minas e Energia, EPE -Empresa de Pesquisa Energética. Plano Nacional de Energia 2050. Brasília. 2020.
- Comissão Permanente de Gestão Energética, Hídrica e Ambiental na UFMG Universidade Federal de Minas Gerais. Minirrede de Energia Oasis-UFMG. Universidade Federal de Minas Gerais Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento Institucional 2020-2021. 2019.
- Paulo Ricardo Radatz de Freitas. Modelos avançados de análise de redes elétricas inteligentes utilizando o software OpenDSS. Universidade de São Paulo- USP Escola Politécnica. São Paulo-SP. 2015.
- Lucas Saraiva Teixeira. Avaliação do impacto de geração própria na rede de Distribuição do campus universitário. Universidade Federal de Minas Gerais Belo Horizonte-MG. 2021.
- Braz de Jesus Cardoso Filho *et al* Relatório Técnico 1: Minirrede de Energia Óasis-UFMG - Ano 1. Laboratório Tesla-UFMG. Belo Horizonte-MG. 2021.
- D. Schwanz, S.K. Ronnberg, M. Bollen. Hosting capacity for photovoltaic inverters considering voltage unbalance. IEEE Manchester PowerTech, Powertech - (2017).
- Sherif M. Ismael and Shady H.E. Abdel Aleem and Almoataz Y. Abdelaziz and Ahmed F. Zobaa. State-of-the-art of hosting capacity in modern power systems with distributed generation. Renewable Energy. Elsevier Ltd. 1002-1020. Vol. 130 - (2019)
- M. Bollen, F. Hassan. Integration of Distributed Generation in the Power System. Wiley- IEEE Press, Hoboken, USA, 2011.
- S. Papathanassiou, N. Hatziargyriou, P. Anagnostopoulos, L. Aleixo, B. Buchholz, C. Carter-Brown, et al. Capacity of Distribution Feeders for Hosting DER. Working Group C6, vol. 24 - (2014).
- Power Surge Ahead. How Distribution Utilities Can Get Smart with Distributed Generation. Accenture consulting, 2017. <https://www.accenture.com/us-en/insight-smart-integration-distributed-generation-utilities>. (Acesso em 13 Dezembro 2021).
- SWERA. *Solar and Wind Energy Resource Assessment* Global Solar Atlas, 2022. <https://globalsolaratlas.info/map?c=-19.497664,-46.307373,6m=sitea=-44.978027,-18.625425,-44.121094,-19.890723,-43.26416,-19.68397,-43.242188,-18.875103,-43.703613,-18.479609,-43.967285,-19.311143,-44.165039,-18.833515,-44.978027,-18.625425>. (Acesso em 27 Janeiro 2022).
- EPRI. *The Hosting Capacity Process* <https://www.epri.com/research/products/000000003002019750>. (Acesso em 13 Fevereiro 2022).