

Análise de Impacto da Inserção de GD nas Tipologias de Carga

Fernando Zaquine Martins*, André Luiz Fonseca Barbosa**, Flavio Oliveira Duarte***, Vitor Hugo Ferreira****, Márcio Zamboti Fortes*****, Bruno Soares Moreira César Borba*****

* *Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações (PPGEET) da Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, (fzaquine@id.uff.br)*

** *Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações (PPGEET) da Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, (alfbarbosa@id.uff.br)*

*** *Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações (PPGEET) da Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, (flavioduarte@id.uff.br)*

**** *Professor Associado no Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, (vhferreira@id.uff.br)*

***** *Professor Associado no Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, (mzamboti@id.uff.br)*

***** *Professor Adjunto no Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, (bborba@id.uff.br)*

Abstract: The article presents an analysis of the impact of DG insertion on typical load curves (typologies) of low voltage residential and commercial consumers. The analysis was based on a sample of consumer load curves with and without DG installed, from an energy distribution company in Brazil. The definition of typologies, considering DG or not, was done through an unsupervised technique (clusterization). The results obtained demonstrated that the consideration of DG can have a relevant impact on residential and commercial typical load curves and that, given the characteristic of the DG profile and the consumption class, the impacts can have different magnitudes from the perspective of segregation distribution system costs.

Resumo: Neste artigo é apresentada a análise do impacto da inserção da GD nas curvas de carga típicas (tipologias) dos consumidores de baixa tensão da classe residencial e comercial. A análise foi realizada com base em uma amostra de curvas de cargas de consumidores com e sem GD instalada, de uma distribuidora de energia do Brasil. A definição das tipologias, considerando ou não a GD, foi realizada por meio de técnica de agrupamento de dados (clusterização). Os resultados obtidos demonstraram que a consideração da GD pode ter um impacto relevante para as tipologias de carga das classes de consumo e que, dada a característica do perfil de GD e da demanda da classe, os impactos podem ter magnitudes diferentes sob a ótica da segregação dos custos do sistema de distribuição.

Keywords: Load Curves, Typologies, DG, Prosumers, Clustering.

Palavras-chaves: Curvas de Carga, Tipologias, GD, Prosumidores, Clusterização.

1. INTRODUÇÃO

O sistema de distribuição de energia elétrica tem se tornado cada vez mais complexo em todo o mundo, dada a intensidade e velocidade da inserção das fontes de energia renováveis (notadamente a eólica e solar-fotovoltaica), integrando um grandioso ecossistema (Vitor 2020) composto pelos mais variados segmentos de consumidores, como: transportes, metalurgia, saúde e residencial, por exemplo. Neste contexto, surgiu o conceito do prosumidor, usuário da rede que conta com os perfis de carga e geração, podendo por vezes ser representado apenas como um consumidor, outras como gerador e, na grande maioria dos casos, desempenha ambos os perfis simultaneamente (Rathnayaka 2013).

Assim, questões relacionadas ao faturamento da energia, tarifação, sustentabilidade e qualidade de energia tem sido o

cerne das atuais discussões envolvendo os Recursos Energéticos Distribuídos (REDs) nos sistemas de distribuição de energia. Neste novo contexto, surge uma questão crucial - quais os impactos positivos e negativos da inserção dos REDs no sistema de distribuição de energia? Levando-se em consideração os aspectos da curva de carga dos diferentes usuários deste sistema (residenciais, comerciais e industriais, por exemplo) com e sem geração distribuída (GD) instalada e em diferentes patamares de carga, torna-se necessário avaliar como, quanto e quando estes prosumidores impactam o Sistema de Distribuição de Energia

Na ocasião da revisão tarifária é definida a receita requerida para a prestação do serviço de forma eficiente pela concessionária de distribuição. Definido este valor, há a necessidade do adequado rateio dos custos entre os diferentes tipos de usuários conectados ao sistema de distribuição de energia elétrica.

Os diversos tipos de usuários diferem na forma de uso da energia elétrica (curva de carga) e na localização da conexão no sistema de distribuição (nível de tensão de conexão). Em se tratando das curvas de carga, por exemplo, uma unidade consumidora da classe residencial apresenta um perfil de curva de carga típica diferente de uma unidade consumidora da classe comercial, basicamente em função do horário de uso da energia elétrica. Já em termos da localização no sistema, unidades consumidoras conectadas no nível de baixa tensão (BT) tem o serviço prestado por uma quantidade maior de ativos a montante, quando comparadas a uma unidade consumidora conectada no nível de alta tensão (AT).

Em função destas características, pode-se dizer que existem distintos graus de responsabilidade dos custos do serviço de distribuição de energia elétrica entre os diversos tipos de consumidores. A forma habitual de se medir a responsabilidade de potência entre os diversos tipos de usuários e redes é por meio do cálculo do custo marginal de capacidade.

O custo marginal de capacidade pode ser entendido como a responsabilidade de um tipo de usuário nos custos de ampliação/reforço do sistema a montante de seu ponto de conexão. Basicamente, o seu valor é função da diversidade da demanda máxima do usuário em relação às demandas máximas dos diversos tipos de rede que o atendem, bem como do fluxo de potência passante em cada um dos tipos de rede.

Para calcular os custos marginais de capacidade, é fundamental conhecer as curvas de carga típicas, tanto dos diversos tipos de usuários quanto dos diversos tipos de rede. Para isso, é necessário realizar o estudo de caracterização de carga.

Esse estudo é composto por uma campanha de medição na qual são obtidas as curvas de carga representativas dos diversos consumidores e redes. Por meio de um processamento aplicando técnicas estatísticas, chega-se às tipologias de carga típicas, tanto dos consumidores quanto das redes, e calcula-se os fatores típicos das curvas de carga (fator de carga, fator de perda, fator de simultaneidade, entre outros).

Nos últimos anos, com a maior penetração dos REDs no sistema de distribuição, as tipologias de carga dos consumidores podem sofrer alterações em função do autoconsumo da geração local. Desta maneira, cabe avaliar quanto essa alteração pode afetar a segregação dos custos do sistema de distribuição. Cumpre dizer que, até o momento (dezembro de 2021), o normativo regulatório brasileiro ainda não apresenta qualquer disposição quanto à condição especial da tipologia de carga para prossumidores.

Desta maneira, este trabalho visa avaliar para as classes de consumo residencial e comercial se é possível observar alteração na forma das tipologias com a consideração de unidades prossumidoras em sua composição.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os impactos da inserção das GD's nos sistemas de distribuição vêm sendo estudados por diversos pesquisadores ao longo dos últimos anos. Muitos dos estudos realizados se referem à GD fotovoltaica (GD-FV), que é a fonte preponderante das instalações de GD no Brasil (ANEEL 2020).

É importante também conhecer a experiência de outros países neste tema. Em (Widén et. al 2010) o autor avalia o impacto da inserção da GD em três circuitos de baixa tensão na Suécia, por meio de uma abordagem estocástica para uma simulação realística da inserção dos sistemas fotovoltaicos. É destacado o impacto causado na curva de carga das redes devido à simultaneidade do autoconsumo e que as flutuações sazonais da geração fotovoltaica são maiores e mais aleatórias do que a variação da demanda das redes BT.

O impacto na curva de carga pela GD-FV foi avaliado em (Paixão et. al 2021). Neste trabalho, o autor explora métricas para analisar as alterações da curva de carga dos alimentadores para diferentes patamares de inserção de GD. Como resultado, é possível notar que o aumento da penetração de GD reduz o fator de carga, porém o pico de demanda não é alterado, uma vez que ocorre no horário em que a energia produzida pela GD é irrelevante. No período do ano mais crítico, o autor destaca a queda acentuada do fator de carga do alimentador, chegando a 0,262, o que significa em termos práticos que deve se manter uma rede superdimensionada para suprir apenas alguns picos de carga.

Outra referência que traz uma constatação interessante sobre o impacto da GD no sistema elétrico pode ser vista em (Castro et al 2018). O operador independente do sistema elétrico da Califórnia (EUA) identificou em 2013 o fenômeno denominado de curva do pato. Esta forma de curva é caracterizada pela queda acentuada da carga líquida – diferença entre a carga e a geração de energia fotovoltaica – que ocorre nos horários em que a geração fotovoltaica é máxima e posterior aumento repentino devido à redução deste tipo de geração. Esse fenômeno tem duas implicações principais: (i) o risco de geração excessiva de energia, que implicaria na necessidade de o operador desligar usinas com baixa flexibilidade de operação e (ii) a necessidade de rápida retomada de carga conforme a geração fotovoltaica diminui e o pico de carga do sistema se aproxima, o que requer que o operador tenha usinas flexíveis no sistema, ou opções de armazenamento de energia.

3. METODOLOGIA APLICADA

Este artigo está inserido no âmbito da caracterização de carga do sistema elétrico de distribuição de energia. Em função da grande quantidade de cargas conectadas ao sistema de distribuição, são aplicadas técnicas estatísticas para se realizar a devida caracterização de carga dos distintos consumidores e redes existentes.

Para avaliar o impacto da GD, o estudo se foca nos consumidores da classe de consumo residencial e comercial. Para estas classes se procedeu o cálculo do tamanho da

amostra que fossem realizadas as medições das curvas de carga integralizadas no intervalo de 15 minutos.

O tipo de amostragem adotada é a aleatória estratificada por grupos homogêneos de consumo. Os estratos de consumo dos consumidores de baixa tensão que estão definidos no módulo 2 do PRODIST (ANEEL 2016a) são ilustrados na Figura 1:

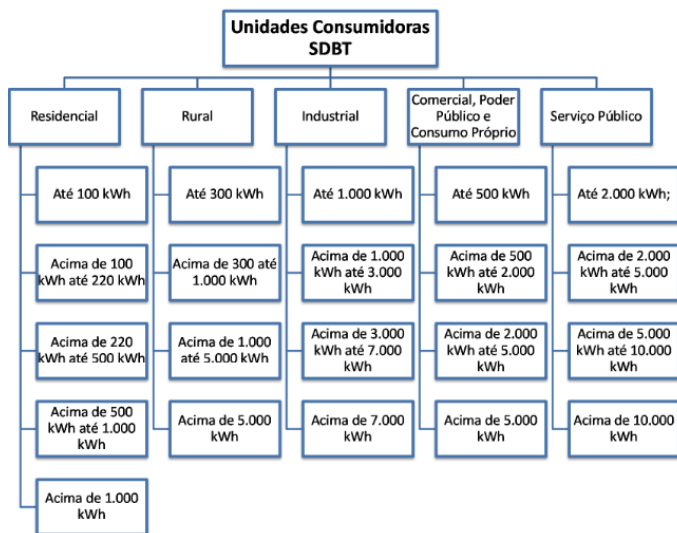


Fig. 1. Estratificação das Unidades Consumidoras de Baixa Tensão (SDBT)

O tamanho da amostra de cada estrato é determinado em função do coeficiente de variação (CV), do erro amostral máximo permitido (20%) e do valor da distribuição normal padrão para um intervalo de confiança de 95% (1,96), conforme (1). (ANEEL 2016a).

$$n = \frac{1,96^2 \cdot \left(\frac{CV}{R}\right)^2}{1 + \frac{1,96^2}{N} \cdot \left(\frac{CV}{R}\right)^2} \quad (1)$$

Onde:

n : tamanho da amostra do estrato; N : tamanho da população do estrato; R : erro amostral (máx: 20 %) e CV : coeficiente de variação do estrato

O cálculo dos coeficientes de variação é realizado com base nos dados de medições das caracterizações de cargas registradas pela distribuidora. Além disso, os CV 's são calculados como os valores médios obtidos das curvas de cargas consideradas dentro de cada estrato.

Definido o tamanho da amostra de cada estrato, realiza-se o sorteio aleatório sem reposição de forma a identificar quais unidades consumidoras serão medidas e suas curvas utilizadas para a obtenção das tipologias de carga.

A determinação das tipologias de carga das distintas classes de unidades consumidoras é feita por meio da aplicação de técnica de agrupamento (*clusterização*) que tem a finalidade de identificar os grupos de medições que são internamente homogêneos e que resultarão nas tipologias típicas. O esquema de obtenção das tipologias de carga é ilustrado na Figura 2 seguindo abordagem apresentada em (ANEEL 2016b).

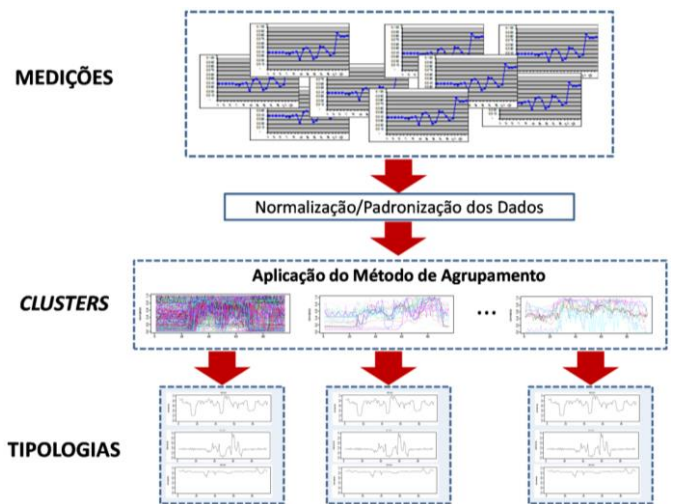


Fig. 2. Estratificação das Unidades Consumidoras de Baixa Tensão

Há diversos métodos para realizar o agrupamento das curvas, tais como *k-means*, *Ward*, *Fuzzy k-means*, entre outros. Neste trabalho, o método *k-means* foi aplicado para realizar o agrupamento das curvas. A sua descrição teórica pode ser encontrada em (Arthur e Vassilvitskii 2007).

Para aplicar este método, é necessário realizar previamente a normalização das curvas de carga, de forma a retirar o viés dos distintos níveis de consumo das unidades consumidoras. Desta maneira, realizou-se a normalização pelo valor máximo da demanda do dia útil selecionado de cada consumidor.

Com os dados preparados, uma questão da aplicação do método *k-means* é determinar a quantidade de agrupamentos a serem construídos, ou seja, na aplicação considerada, a quantidade de tipologias características a serem obtidas para cada classe de consumo.

Para isso, utilizou-se o método Elbow que consiste em aplicar o método *k-means* para diferentes números de agrupamentos e identificar qual dessas quantidades é a quantidade ótima segundo uma dada métrica de avaliação. O método avalia a soma das distâncias ao quadrado das observações até o centro do agrupamento ao qual pertence (distorção) em relação à quantidade de agrupamentos de forma a determinar onde se localiza o ponto de inflexão da curva, o qual é uma boa indicação da quantidade ótima de agrupamentos. Esse ponto indica o equilíbrio entre uma maior homogeneidade dentro do agrupamento e uma maior diferença entre eles.

Adicionalmente, para avaliar a consistência da classificação, foram verificadas duas métricas: (i) o coeficiente de silhouette e (ii) o mapa das distâncias inter-cluster das duas componentes principais. O coeficiente de silhouette é uma medida da similaridade de um objeto a seu próprio agrupamento, comparada em relação aos outros agrupamentos. O coeficiente de silhouette de cada curva é calculado como a diferença entre a distância média intra-cluster e a distância média ao cluster mais próximo normalizado pelo valor máximo. O valor do coeficiente fica no intervalo [-1, 1], onde valores iguais a 1 significam que a amostra fica distante do agrupamento mais próximo. O valor 0 indica que a curva se encontra na fronteira de decisão entre

dois agrupamentos vizinhos, e valores negativos significam que os elementos podem estar alocados em um agrupamento equivocado.

O mapa das distâncias inter-cluster é obtido com base nas duas componentes principais, de maneira que a distância entre os centros dos agrupamentos é preservada na dimensão 2D, ou seja, os centros dos agrupamentos mais próximos correspondem a agrupamentos efetivamente mais próximos no espaço original. O tamanho do agrupamento no mapa representa a quantidade de curvas que o compõem, e permite avaliar a importância relativa dos agrupamentos. Além disso, cabe ressaltar que se dois agrupamentos se intersectam no espaço 2D não necessariamente eles se intersectam no espaço original.

Definidas as quantidades de agrupamentos e a sua qualidade, a tipologia representativa de cada uma nada mais é do que a média dos valores das curvas normalizadas de cada agrupamento.

4. ESTUDO DE CASO E DISCUSSÕES

4.1 Descrição do Estudo de Caso

Para o desenvolvimento deste trabalho foi necessário possuir uma base de dados de medições das cargas dos consumidores de baixa tensão, com e sem GD. Esta base de dados foi obtida no âmbito de um projeto de P&D realizado na distribuidora Energisa Sul Sudeste (ESS).

No projeto de P&D, denominado de “Análise dinâmica de curvas de carga de baixa tensão”, foi considerada a instalação de medidores com memória de massa e comunicação via tecnologia 3G para uma amostra representativa dos consumidores BT das classes de consumo residencial, comercial, industrial, rural e serviço público. A amostra dos consumidores sem GD foi calculada de acordo com as diretrizes apresentadas na seção anterior.

Ao todo, foram medidos 501 consumidores da classe residencial e 178 da classe comercial, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Tamanho da Amostra Consumidores sem GD

Classe de Consumo	Faixa de Consumo (kWh/mês)	Amostra Adotada
Residencial	0 - 100	160
	100 - 220	136
	220 - 500	109
	500 - 1000	60
	> 1000	36
Comercial	0 - 500	75
	500 - 2000	43
	2000 - 5000	30
	> 5000	30

Já para a amostra de consumidores com GD, como não havia curvas de carga deste tipo de consumidor disponíveis para realizar o cálculo do tamanho da amostra, adotou-se uma

amostra como um percentual arbitrário da população estratificada pela classe de consumo e a potência instalada da geração declarada pelo prosumidor, conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Tamanho da Amostra Consumidores com GD

Classe de Consumo	Faixa de Potência Pico (kWp)	Amostra Calculada
Residencial	0 - 15	203
	15 - 30	10
	30 - 45	3
	45 - 60	1
Comercial	0 - 15	19
	15 - 30	14
	30 - 45	6
	45 - 60	5
	60 - 75	4

As medições foram efetuadas em 6 municípios atendidos pela distribuidora, sendo eles: Extrema (MG), Guarapuava (PR), Assis (SP), Bragança Paulista (SP), Catanduva (SP) e Presidente Prudente (SP).

O início das medições se deu no mês de julho de 2020, e para este trabalho foram consideradas as curvas de carga medidas do mês de julho de 2021.

4.2 Resultados e Discussões

O impacto da GD nas tipologias de carga é avaliado por meio da comparação entre as tipologias sem e com a inserção da GD. Desta maneira, são estimadas inicialmente as tipologias de carga sem GD, de acordo com a metodologia descrita na seção III.

A quantidade de agrupamentos pelo método Elbow para cada uma das classes de consumo pode ser observada na Figura 3.

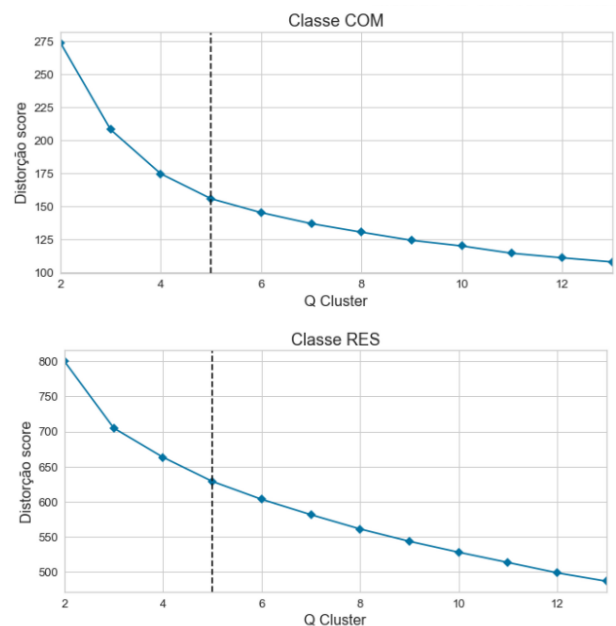


Fig. 3. Resultados do método do cotovelo para as classes comercial e residencial

Observa-se, portanto, que a quantidade de tipologias, tanto para classe residencial quanto para a classe comercial, é igual a 5. Com estas quantidades de tipologias por classe, aplicando-se o método *k-means*, pode-se avaliar a qualidade do agrupamento por meio do coeficiente de silhuete e do mapa das distâncias inter-cluster, conforme apresentado nas Figuras 4 e 5, respectivamente.

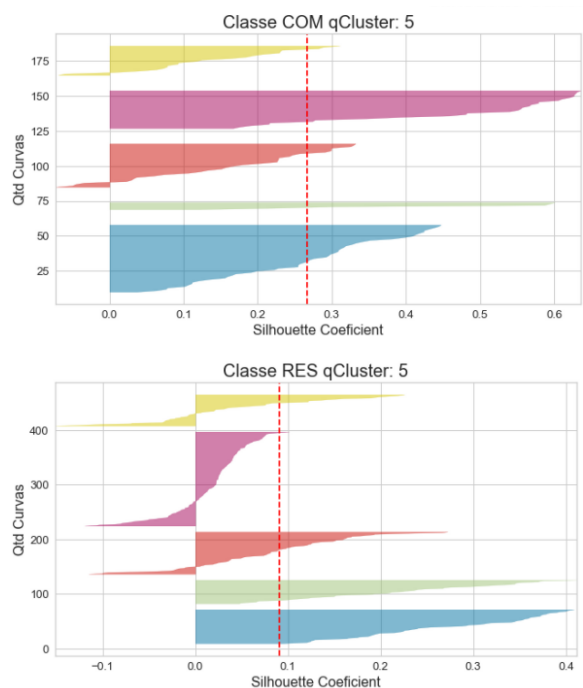


Fig. 4. Coeficiente de Silhuete das classes comercial e residencial

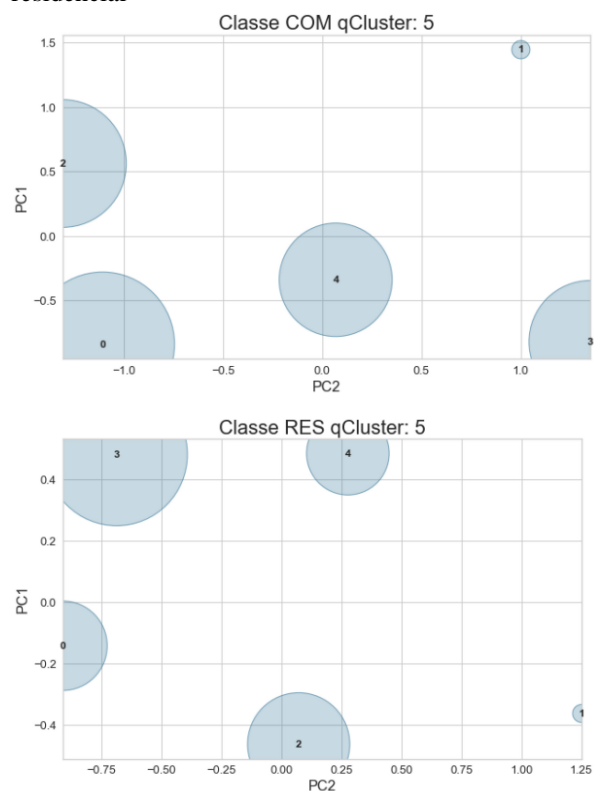


Fig. 5. Mapa das distâncias inter-cluster das classes comercial e residencial

Como é possível observar, o gráfico de silhuete indica que tanto na classe residencial quanto na classe comercial de alguns agrupamentos pode haver problemas de intersecção de alguns padrões entre clusters. Contudo, quando é analisado o mapa das distâncias inter-cluster, pode ser visto que os agrupamentos estão bem divididos com base em suas duas componentes principais. Desta maneira, entende-se que os resultados dos agrupamentos são satisfatórios e vão propiciar tipologias bem definidas e características de cada classe de consumo.

As tipologias obtidas para cada classe de consumo sem considerar a GD são vistas na Figura 6.

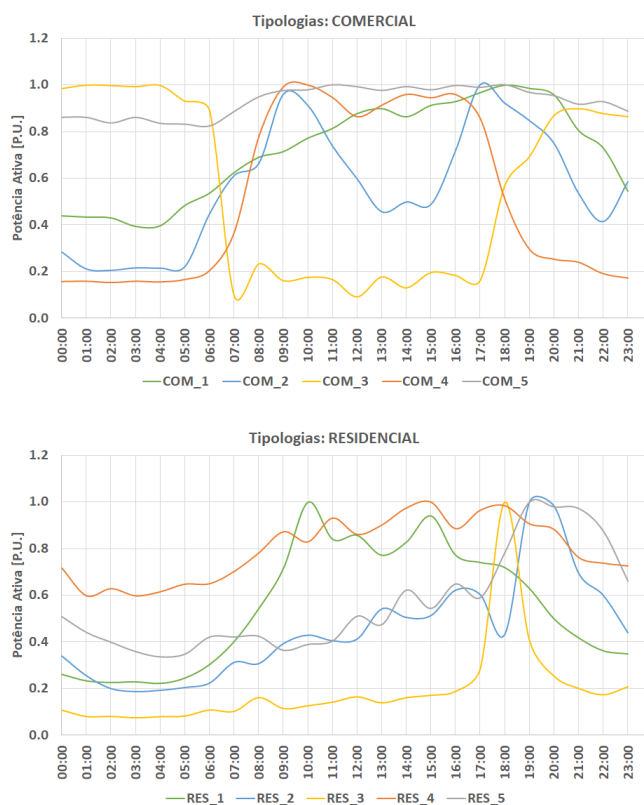


Fig. 6. Tipologias das classes comercial e residencial

Para estimar as tipologias com a inserção da GD, a técnica de agrupamento foi aplicada novamente, considerando a mesma quantidade de agrupamentos definidas no caso sem GD.

Desta maneira, com esses resultados foi possível realizar a comparação das tipologias com e sem GD. Para a classe comercial os resultados podem ser vistos na Figura 7.

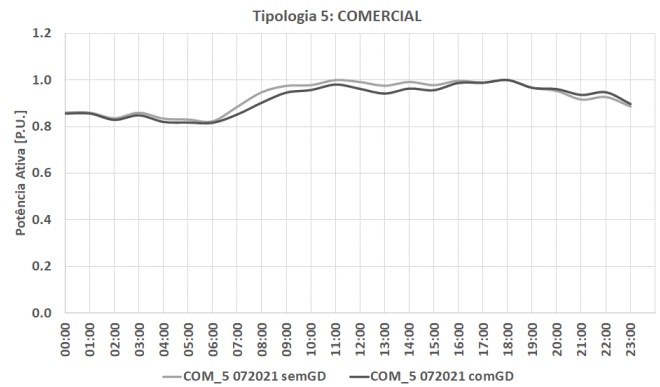
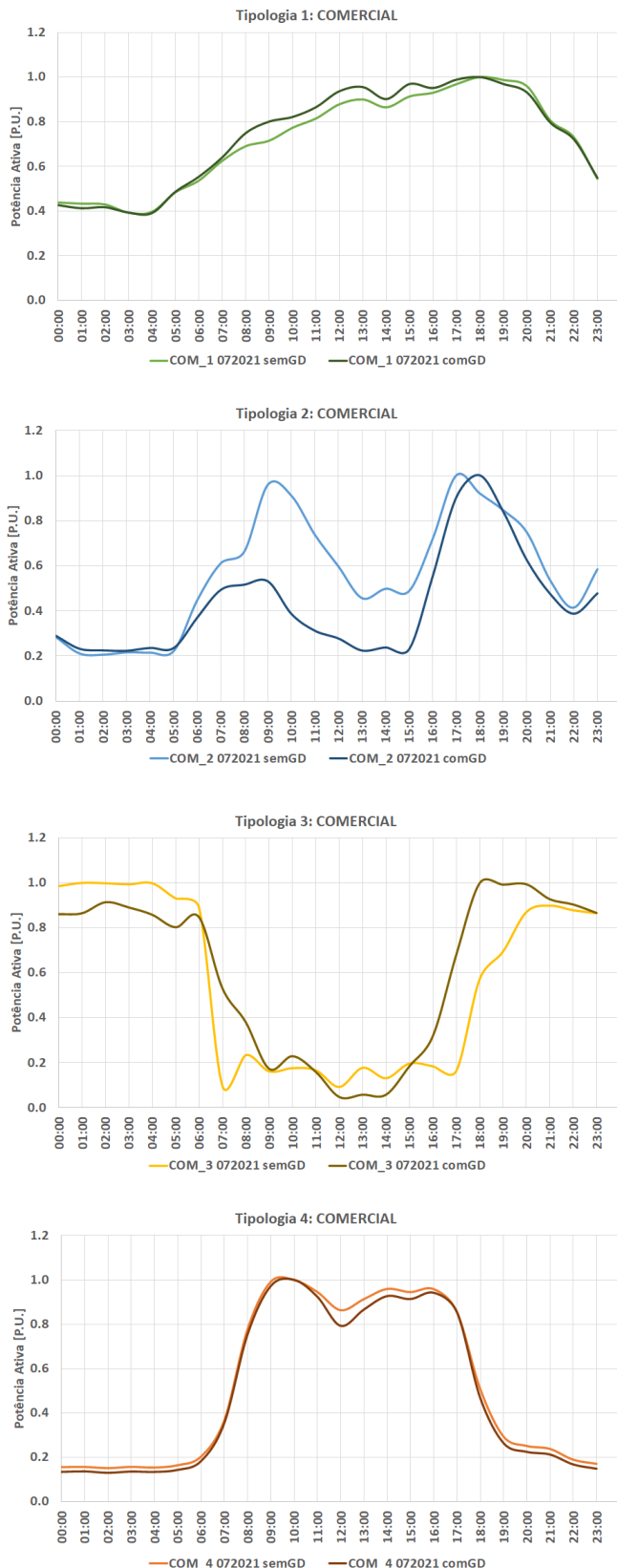


Fig. 7. Comparação tipologias da classe comercial com e sem GD

Nota-se que nas tipologias 2 e 3 o impacto da GD na formação da tipologia é mais acentuado. Na tipologia 2, observa-se uma redução significativa do fator de carga em função da GD, devido principalmente ao menor carregamento entre o período das 07h00min às 15h00min. Já na tipologia 3, é interessante observar que há um deslocamento do horário do pico de carga, passando das 04h00min para as 18h00min.

Nas tipologias 1, 4 e 5, o impacto da GD na formação da tipologia é pequeno. Porém, nas tipologias 4 e 5 há uma pequena redução do fator de carga, enquanto na tipologia 1 há um pequeno aumento, explicado pelo atendimento de uma parte da carga pela GD no período de 16h00min as 17h:00min.

Cumprir dizer que cada tipologia de carga apresenta um peso diferente no total da curva de carga agregada da classe de consumo. Sendo assim, é interessante observar o impacto na curva de carga agregada da classe com a entrada da GD, conforme mostra a Figura 8.

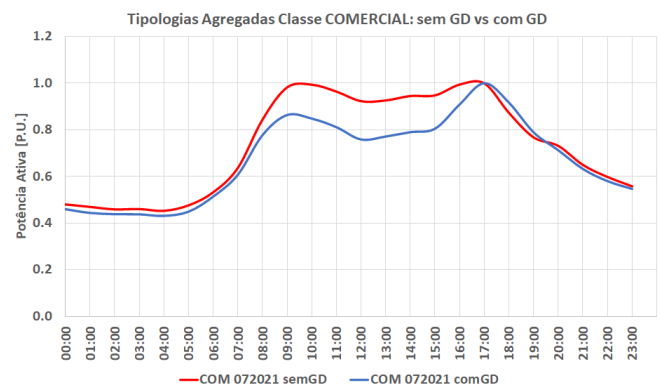


Fig. 8. Comparação curva de carga agregada da classe comercial com e sem GD

Observa-se que a curva agregada da classe comercial com GD apresenta um fator de carga menor (8% menor), e que isso se deve basicamente à redução do carregamento no período entre 08h00min e 16h00min. Esse fato decorre de que, majoritariamente, o tipo de GD conectada à rede de distribuição é solar-fotovoltaica (FV). Este tipo de GD apresenta a sua capacidade de geração atrelada ao nível de irradiação solar que ocorre entre a alvorada e o pôr do Sol,

que abrange o período no qual observa-se a redução do carregamento.

Nota-se ainda que a redução do carregamento ocasionado pela GD para a classe comercial encontra-se em grande parte no período de maior carregamento desta classe de consumo. Para a classe residencial, o impacto da GD nas tipologias pode ser visto na Figura 9.

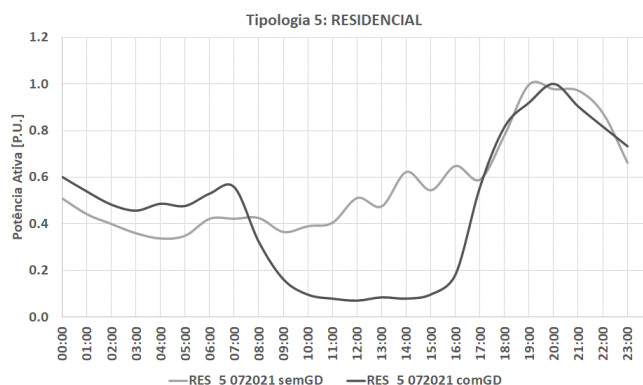
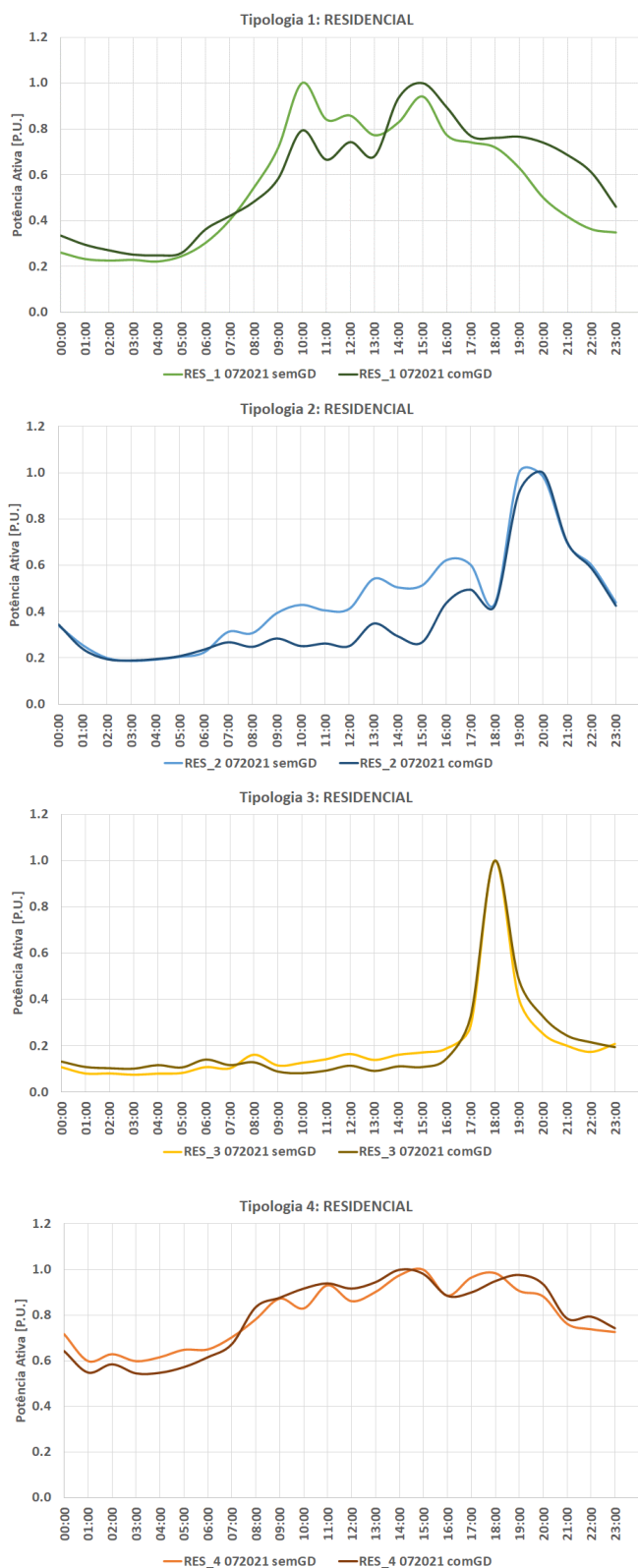


Fig. 9. Comparação das tipologias da classe residencial com e sem GD

No caso das tipologias da classe residencial, aquelas que apresentaram maior impacto da GD foram as tipologias 1, 2 e 5. Sendo que as tipologias 2 e 5 apresentaram uma redução significativa do fator de carga (em torno de 16% e 18% respectivamente) e a tipologia 1 apresentou uma alteração do pico de demanda das 10h00min para as 15h00min.

Já nas tipologias 3 e 4, o impacto da GD na formação da tipologia é pequeno, sendo a variação do fator de carga menor que 2%.

Assim, como analisado para a classe comercial, é interessante avaliar na Figura 10 o impacto da consideração da GD na curva de carga agregada da classe residencial.

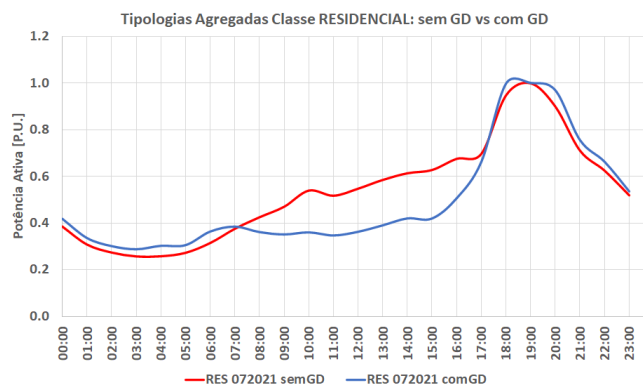


Fig. 10. Comparação curva de carga agregada da classe residencial com e sem GD

O fator de carga diminui em torno de 8%, sendo que a redução do carregamento ocorre devido à preponderância da GD ser do tipo solar-fotovoltaica, entre o período das 08h00min e 17h00min. Porém, diferentemente da classe comercial, a redução não ocorre no período de maior carregamento, que no caso da classe residencial está entre 18h00min e 20h00min.

Ainda no caso da classe residencial, nota-se que ao considerar a GD há um aumento de carga mais abrupto/mais rápido para o pico de carga. Este efeito como explicitado na seção II é denominado de “curva do pato” e a sua ocorrência pode ser um desafio para alguns operadores por requerer

usinas flexíveis, que possam entrar no sistema e gerar energia elétrica rapidamente, e/ou então possuir fontes de armazenamento, que permitam disponibilizar a energia armazenada enquanto um número maior de usinas entra em operação.

5. CONCLUSÕES

O estudo realizado demonstrou que a consideração das curvas de carga de prossumidores na determinação das tipologias de carga resulta em alterações dos perfis. Este fato significa que a forma como é feito atualmente no Brasil a divisão dos custos do sistema de distribuição entre as distintas classes de consumidores não captura as características dos prossumidores.

Essas características não capturadas podem ser mais latentes, a depender do tipo de classe de consumidores que se insere a GD. De fato, como foi demonstrado, na classe residencial onde não há uma coincidência do pico de demanda da classe com a GD, não se observa uma redução dos custos marginais para efeitos tarifários. Por outro lado, na classe comercial, onde há uma coincidência, a GD apresenta um custo marginal de capacidade menor.

Desta maneira, para evitar distorções na segregação dos custos de distribuição, pode ser interessante criar uma modalidade tarifária específica para os prossumidores.

Além disso, dada a atual predominância da expansão energética brasileira através da fonte solar-fotovoltaica e com o objetivo de garantir um maior fator de carga do sistema de distribuição, pode-se avaliar incentivos ao armazenamento de energia e à adoção de outras fontes de energia renovável.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Grupo Energisa no âmbito do programa de Pesquisa e Desenvolvimento da Agência Nacional de Energia Elétrica. Os autores agradecem pela disponibilidade dos dados e auxílio das discussões que foram fundamentais para o desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS

Victor, T.H., Reginaldo, A., Tiago, Y.F.Y., Khalil, A. K. and Fabio, H.H. (2020). B2B B2C Architecture for Smart Meters using IoT and Machine Learning: a Brazilian Case Study, *2020 International Conference on Smart Grids and Energy Systems (SGES)*. doi: 10.1109/SGES51519.2020.00152.

Rathnayaka, A.J., Dinusha et al. (2013). A methodology to find influential prosumers in prosumer community groups. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, v. 10, n. 1, p. 706-713. doi: 10.1109/TII.2013.2257803.

ANEEL (2020), "Relatório de Unidades Consumidoras com GD". [Online]. Available: http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Modalidade.asp Accessed on: Nov 9, 2021.

Widén, J., Wäckelgård, E., Paatero, J. and Lund, P. (2010). Impacts of distributed photovoltaics on network voltages: Stochastic simulations of three Swedish low-voltage distribution grids, *Electric Power Systems Research*, no. 80, p. 1562–1571. doi: 10.1016/j.epr.2010.07.007

Paixão, J.L. and Abaide, A.Z. (2021). Métricas para a avaliação do impacto da GD fotovoltaica na curva de carga, in *13th Seminar on Power Electronics and Control (SEPOC)*, Santa Maria, Brasil. doi: 10.53316/sepoc2021.068.

Castro, N., Castro, G., Ferreira, D., Tommasso, F. and Morais, R. (2018). Impactos Sistêmicos da Micro e Mini GD. [Online]. Available: https://agora.ie.ufrj.br/pdf/Nivalde_de_Castro/12.tdse79_2018_Impactos_sistemicos_da_micro.pdf. Accessed on Nov. 12, 2021.

ANEEL (2016a), PRODIST Módulo 2 – “Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição. [Online]. Available: <https://www.aneel.gov.br/modulo-2>. Accessed on Nov. 5, 2021.

ANEEL (2016b), Manual de Orientação Processo de Caracterização da Carga e do Sistema Elétrico para Cálculo Tarifário.

Arthur, D. and Vassilvitskii, S. (2007). “k-means++: The Advantages of Careful Seeding” in *Eighteenth annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms*, New Orleans, USA.

Jardini, J.A., et al. (2000). Daily load profiles for residential, commercial and industrial low voltage consumers. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 15(1), 375–380. doi: 10.1109/61.847276.

Torquato, R., Salles, D., Pereira, C.O., Meira, P.C.M., and Freitas, W. (2018). A comprehensive assessment of pvhosting capacity on low-voltage distribution systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 33(2), 1002–1012. doi: 10.1109/TPWRD.2018.2798707.