

ESTUDO COMPARATIVO DE LIGAÇÃO DE USINA FOTOVOLTAICA DE 480 KW EM BAIXA OU MÉDIA TENSÃO

Luiz Gustavo Trevisan¹; Jair Urbanetz Junior²

¹Universidade Tecnológica do Paraná (UTFPR), luiztrevisan@utfpr.edu.br

²Universidade Tecnológica do Paraná (UTFPR)

RESUMO

Este artigo apresenta o resultado de um estudo comparativo entre a ligação de uma usina fotovoltaica com potência de 480 kW na rede da concessionária de energia COPEL na Baixa Tensão ou na Média Tensão. Um determinado consumidor que possui uma medição em Baixa Tensão já fora dos padrões atuais de ligação deparou-se com este problema, havendo a necessidade de um estudo comparativo. O estudo contempla análises técnicas, financeiras e prazos para definição da melhor forma de ligação.

Palavras-chave: Usinas Fotovoltaicas, Ligação de Consumidor na Rede da Concessionária, Geração Distribuída.

1. INTRODUÇÃO

Com o rápido crescimento da utilização da energia solar nos últimos anos houve uma sobrecarga no setor de serviços, com falta de equipamentos e mão de obra qualificada. No Brasil, em 2022 com a criação do marco legal de geração distribuída, houve uma aceleração na construção e ativação de usinas fotovoltaicas.

A Resolução Normativa nº 1059 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) no Artigo 2º, incisos XXXIX-A e B definem microgeração distribuída como central geradora com potência menor ou igual a 75 kW e minigeração distribuída como central geradora com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 3 MW (podendo ser até 5 MW em situações específicas, nos termos dos incisos IX e XIII e do Parágrafo Único do art. 1º da Lei nº 14.300/2022) (ANEEL, 2023).

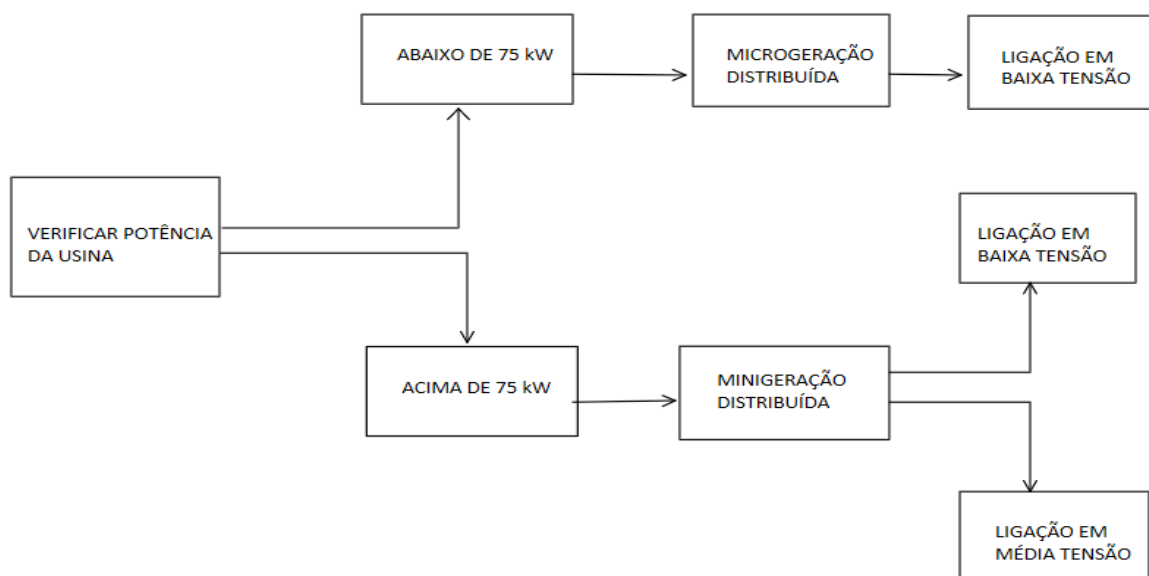
Existem certas situações onde o profissional envolvido tem que optar pela solução mais viável, observando todos os parâmetros legais, normalizações e também pela experiência profissional em determinado assunto. Muitas vezes a situação mais visível e simples pode se tornar a mais onerosa.

2. METODOLOGIA

2.1 Considerações gerais

Quando da ligação de uma usina de geração distribuída, primeiramente deveremos verificar a potência da usina projetada para verificarmos qual seria a melhor forma de conexão ao sistema da concessionária. Até 75 kW conectamos em baixa tensão, pois trata-se de microgeração distribuída. Acima de 75 kW até 3 MW (para UFV) podemos conectar em baixa ou média tensão. Dependendo da região brasileira onde a usina está instalada podemos ter estas duas opções. Abaixo um fluxograma das opções existentes.

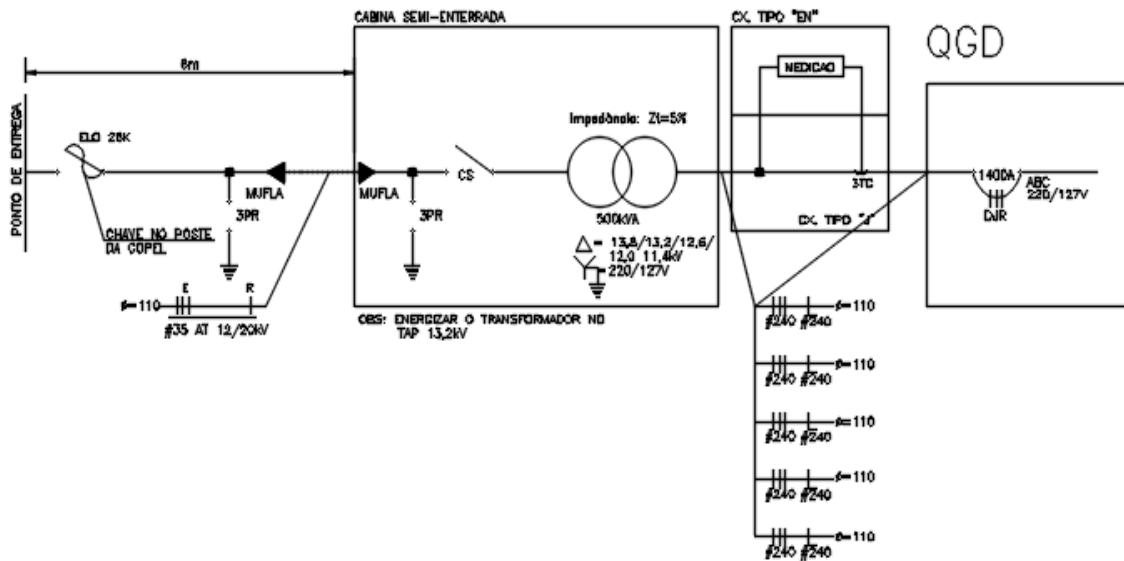
Figura 1. Fluxograma



2.2 Caso consumidor com entrada de energia fora de normalização atual

Um determinado consumidor possui uma subestação com um transformador único de potência 500 kVA para atender sua carga. Até meados dos anos 80 as concessionárias de energia permitiam que a medição de energia fosse feita em Baixa Tensão, conforme diagrama unifilar abaixo.

Figura 2. Diagrama Unifilar da Entrada de Energia Existente em Baixa Tensão



Fonte: Autor, 2022.

O consumidor em questão contratou uma usina de geração fotovoltaico com potência de 480 kW, menor que a potência do transformador existente. Basicamente é só conectar o sistema na subestação existente e começar a gerar energia elétrica. Mas veio o primeiro problema, pois pela NTC 905200 da COPEL vigente na época, e que é semelhante a quase todas as concessionárias de energia do Brasil, uma usina deste porte tem que ser conectada na média Tensão. Como esta tensão não existe nas instalações do consumidor, houve a necessidade de um estudo detalhado para verificar qual seria a opção de ligação mais viável do ponto de vista de prazos, técnico e financeiro, Baixa Tensão ou Média Tensão.

2.3 Instalação de usina fotovoltaica

A configuração da usina instalada é do tipo aplicado à edificação (BAPV – termo em inglês Building Applied Photovoltaics) (MARIANO e URBANETZ, 2022). Como no terreno existem várias edificações, optou-se por questões de fixação na estrutura do telhado e por ser construção recente, o barracão com área menor.

O sistema foi dividido em vários inversores: 03 inversores de 30 kW, 04 inversores de 40 kW e 02 inversores de 100 kW, totalizando 480 kW de potência. Os inversores foram instalados na parede lateral do barracão, concentrados em um ponto.

Devido a elevada potência da usina, quando da construção da mesma, não havia a possibilidade da interligação em um ponto próximo em Baixa Tensão, pois os quadros existentes não possuíam carga compatível com a usina. O único local de interligação seria a subestação de entrada, que fica distante 200 metros da usina fotovoltaica. Em uma consulta a COPEL, a mesma informou que havia viabilidade técnica para a conexão da usina na Baixa Tensão.

Na figura 3 temos a configuração da usina.

Figura 3. Vista Aérea do Consumidor.



Fonte: Google Maps, 2022.

2.4 Interligação da usina com a concessionária em Baixa Tensão

Como as instalações internas estão todas em Baixa Tensão, foi feito um projeto de interligação entre a subestação e a usina. Esta interligação será feita com condutores elétricos de cobre, isolamento 1kV, sendo que seu dimensionamento deve ser precedido de uma análise detalhada das condições de sua instalação e a carga a ser suprida. Um condutor mal dimensionado, além de implicar a operação inadequada da carga, representa um elevado risco de incêndio para o patrimônio, principalmente quando está associado a um projeto de proteção deficiente (MAMEDE, 2017).

Os fatores básicos que envolvem o dimensionamento de um condutor são: tensão nominal, frequência nominal, potência ou corrente da carga a ser suprida, fator de potência da carga, tipo do sistema (monofásico, bifásico ou trifásico), método de instalação dos condutores, natureza da carga, distância da carga ao ponto de suprimento e corrente de curto

circuito (MAMEDE, 2017). Além destes fatores, o dispositivo de proteção deve estar coordenado de maneira que sobrecargas e curto circuitos sejam prontamente interrompidos.

Para esta situação específica serão observados dois critérios para o dimensionamento dos condutores, por capacidade de condução de corrente e por limite de queda de tensão (norma ABNT 5410:2004). Também será observada a coordenação de proteção.

No caso em questão temos as seguintes características:

Tabela 1. Características elétricas do consumidor, conforme catálogo do fornecedor dos inversores.

Característica	Valor
Tensão Nominal	220/127 V
Potência da Carga	480 kW
Fator de Potência	0,8 ajustável
Tipo do Sistema	TRIFÁSICO
Corrente de Curto-Circuito Máxima	40 A
Distância até o Ponto de Conexão	200 metros
Natureza da Carga	Inversores
Tensão Nominal	220/127 V

Primeiramente dimensiona-se pelo critério de capacidade de condução de corrente. O ramal em questão será subterrâneo, desta forma será da maneira de instalar D, tabela 33 da ABNT NBR 5410:2004. O valor da corrente (A) é calculada com a razão da potência da carga (kW) pela tensão do sistema (V) multiplicado pelo Fator de correção de Temperatura (FCT) e o Fator de Correção de Agrupamento (FCA), tabelas 40 e 42 da ABNT NBR 5410:2004.

$$I = \frac{P}{V \times FCA \times FCT} \quad (1)$$

Para a presente situação o valor da corrente calculado é de 2.286 A. Para esta corrente e para a instalação em eletroduto subterrâneo, poderemos utilizar 8 cabos de 185 mm² isolamento HEPR 90°C (Icabo = 304 A – de acordo com a norma NBR 5410/2004 - TABELA 37, maneira de instalar D) por fase. Cada circuito de 3 fases e neutro deverá ser instalado em eletroduto independente, portanto teremos 8 eletrodutos instalados.

O segundo critério de dimensionamento dos condutores será pela máxima queda de tensão. O máximo valor que podemos ter entre os terminais do transformador e os inversores é de 7%, conforme norma ABNT NBR 5410:2004. Para o cálculo da máxima queda de tensão admissível (ΔV em %) é a razão entre duas vezes o comprimento dos condutores (m)

multiplicada pela corrente da carga (A) e o fator do condutor (0,0178 relativo ao cobre) divididos pela tensão (V) multiplicado pela seção do condutor (mm²).

$$\Delta V = \frac{2 \times l \times I \times 0,0178}{V \times S_{condutor}} \quad (2)$$

Para nossa situação o valor da máxima queda de tensão será de 3,5%, utilizando 8 cabos de 185 mm² por fase, o que atende a norma ABNT NBR 5410:2004.

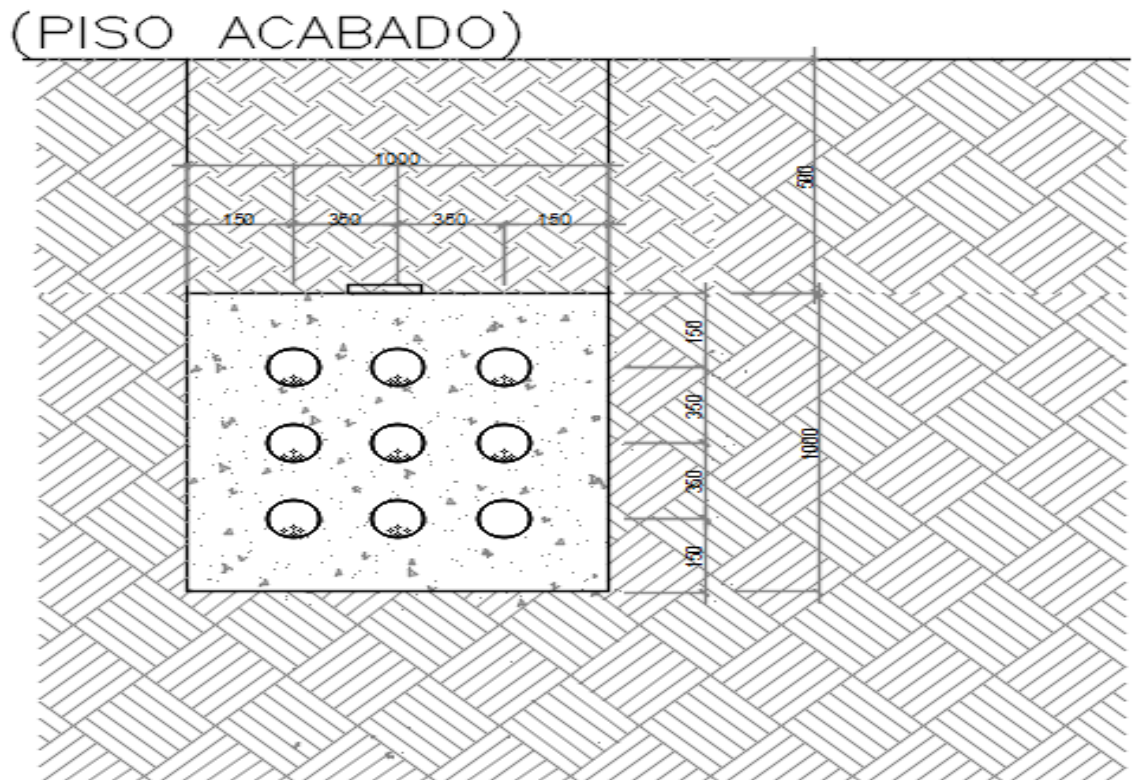
Para a coordenação de proteção adotamos os procedimentos indicados na norma ABNT NBR 5410:2004, onde a corrente de projeto tem que ser menor que a corrente da proteção que deverá ser menor que a corrente dos condutores.

$$I_{projeto} < I_{proteção} < I_{condutores} \quad (3)$$

Para 8 cabos de seção 185 mm² todos os critérios são atendidos, sendo que o dispositivo de proteção será um disjuntor termomagnético tripolar de capacidade de 1.600 A.

Para que todos os fatores indicados na norma ABNT NBR 5410:2004 sejam atendidos a disposição dos eletrodutos no solo deverá seguir as distâncias conforme abaixo.

Figura 4. Disposição dos Eletrodutos no Solo de acordo com a Norma ABNT NBR 5410:2004



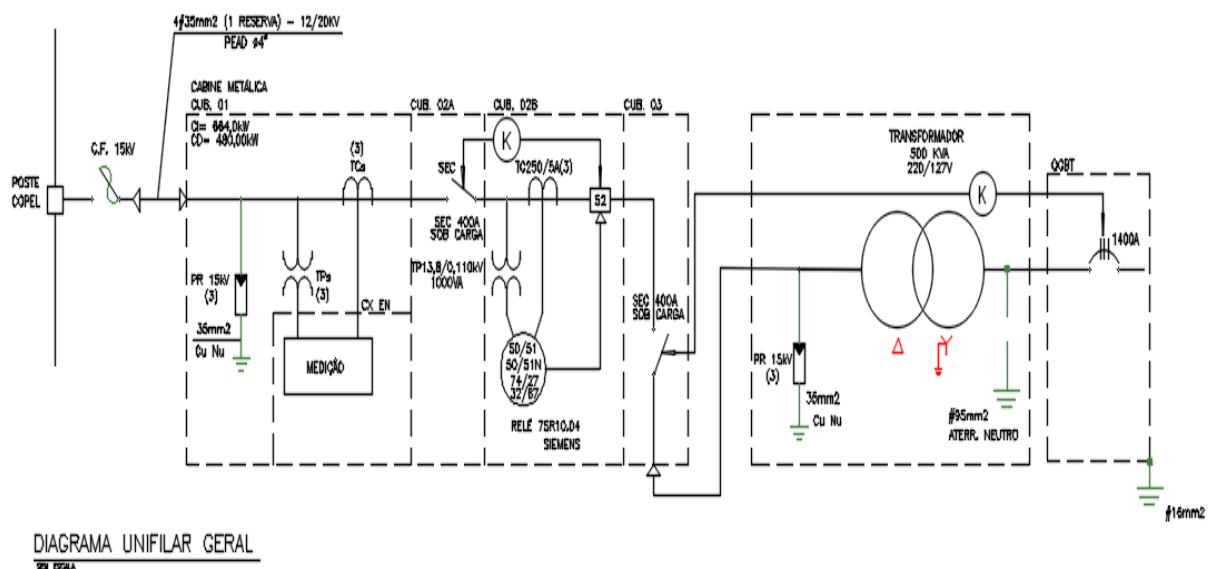
Fonte: Autor, 2022.

2.5 Interligação da usina com a concessionária em Média Tensão

Um segundo estudo foi feito para a interligação do consumidor na Média Tensão, rede 13,8 kV da COPEL. Para que isto possa ocorrer haverá a necessidade da mudança da medição em Baixa Tensão existente para medição na Média Tensão, conforme a normalização vigente para a potência de 500 kVA (NTC 903100 da COPEL).

Para isto ocorrer, haverá a necessidade da aprovação do projeto de entrada de energia na COPEL com a instalação de uma cabine primária conforme diagrama.

Figura 5 - Diagrama Unifilar em Média Tensão.



Fonte: Autor, 2022.

Para esta situação haverá a necessidade da aquisição de duas cabines novas em 13,8 kV, uma de entrada com medição e proteção na Média Tensão e outra cabine para atender a usina fotovoltaica, compreendendo proteção na Média Tensão (disjuntor e relé de proteção próprios para geração distribuída) e um transformador abaixador de 13,8 kV para a tensão 380 V da usina, com potência de 500 kVA. A interligação entre estas cabines será feita através de um ramal em 13,8 kV, através de rede aérea, pois há espaço no terreno para implantação, utilizando cabos de Alumínio isolados para 15 kV.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Comparativo técnico

Primeiramente será feito um comparativo técnico entre as 2 possibilidades.

Tabela 2. Comparativo técnico entre a interligação em Baixa Tensão ou Média Tensão.

Característica	Baixa Tensão	Média Tensão
Tensão Nominal	220/127 V	13,8 kV
Possibilidade de aumento de carga	Não há.	Instalação de 01 ou mais transformadores no sistema interno de acordo com as necessidades.
Queda de tensão	Limitada a 7% de acordo com a norma ABNT NBR 5410:2004 em toda a instalação	7% de acordo com a norma ABNT NBR 5410:2004 no secundário de cada transformador instalado, próximos aos centros de carga.
Ramal de interligação entre o sistema da concessionária e o sistema fotovoltaico	Subterrâneo, complexo e com uma quantidade elevada de cabos – 8 por fase para atender a usina.	Simple, pois na média tensão podemos ter 01 cabo por fase para atender a usina, de forma aérea ou subterrânea.
Interligação ao sistema de energia do consumidor	Complexo pelo fato da quantidade de cabos a serem conectadas em um quadro de baixa tensão, 32 no total.	Simple, pois na média tensão temos poucos cabos e conexões através de terminais tipo muflas.
Proteção	Somente através de disjuntores de baixa tensão, onde há dificuldade do comando através de relés de proteção com funções mais complexas.	Disjuntores na média tensão comandados por relés de proteção mais confiáveis.
Mão de obra	Simple, com eletricitas com conhecimento e prática em baixa tensão	Empresa de engenharia, com eletricitas com conhecimento e prática em média tensão
Possibilidade de aumento de carga	Não há.	Instalação de 01 ou mais transformadores no sistema interno de acordo com as necessidades.

Como a instalação é existente e está funcionando normalmente, a opção de conexão na Baixa Tensão é atrativa, apesar das dificuldades técnicas, pois somente é necessário a construção do banco de dutos, passagem dos cabos, interligação nos quadros elétricos e a instalação do relé de proteção junto a entrada de energia.

3.2 Comparativo financeiro

Foi realizado um estudo comparativo de custos estimados entre as 2 opções. Foi levado em conta no estudo os equipamentos e materiais necessários e mão de obra qualificada.

Tabela 3 – Custo Interligação em Baixa Tensão.

Descrição	Valor em R\$
Cabos de baixa tensão (material e mão de obra)	R\$950.000,00
Abertura do banco de dutos e instalação de eletrodutos	R\$48.000,00
Interligação nos quadros de baixa tensão - adaptações	R\$ 25.000,00
Transformador elevador 220V para 380V	R\$50.000,00
Materiais Diversos	R\$35.000,00
TOTAL	R\$1.108.000,00

Tabela 4 – Custo Interligação em Média Tensão

Descrição	Valor em R\$
Cabine de medição e proteção nova	R\$110.000,00
Cabine de proteção e transformação junto a usina	R\$300.000,00
Interligação entre cabines na média tensão	R\$ 85.000,00
Ligação COPEL em Média Tensão	R\$30.000,00
Materiais Diversos	R\$40.000,00
TOTAL	R\$565.000,00

Temos que levar em conta na comparação, o tempo a mais para a mudança da medição de Baixa Tensão para Média Tensão. Neste caso o tempo efetivo foi de 3 meses por conta de todo o processo da concessionária. A economia mensal na conta de energia com a usina em funcionamento é em torno de R\$35.000,00 por mês.

Portanto, se considerarmos todos os valores envolvidos acima demonstrados, a economia da ligação em Média Tensão seria em torno de R\$438.000,00, em torno de 40% do valor da ligação em Baixa Tensão.

3.3 Comparativo de prazos

É importante analisar também os prazos para efetiva ligação da usina fotovoltaica no sistema da concessionária. Os prazos referentes ao projeto elétrico específico da usina fotovoltaica, vistoria e comissionamento pela COPEL e ligação, são os mesmos para as 2 situações.

Para interligação na baixa tensão é necessário a compra dos materiais (em torno de 30 dias), construção do banco de dutos e passagem dos cabos (em torno de 30 dias), total em torno de 60 (sessenta) dias para a solicitação de ligação.

Para interligação na Média Tensão é necessário a aprovação do projeto junto a COPEL da nova cabine de medição e proteção (em torno de 30 dias), montagem, vistoria e ligação das novas cabines (em torno de 120 dias). Alguns prazos podem ser concomitantes, mas tivemos neste caso 150 (cento e cinquenta) dias para a efetiva ligação da cabine nova de medição.

4 CONCLUSÃO

Se analisarmos as comparações de aspectos técnicos, financeiro e prazos, temos que a diferença do tempo de energização do sistema nas duas opções é de 3 meses, a vantagem é a ligação em baixa tensão.

Se observarmos as vantagens de regulação de tensão, possibilidade de expansão do sistema e também na execução da obra, a ligação em Média Tensão leva enorme vantagem em relação a Baixa Tensão.

Se observarmos a economia em torno de 37% dos custos envolvidos, a vantagem também é significativa na ligação em Média Tensão.

O cliente em questão decidiu na implantação da Média Tensão na sua unidade. Em um investimento em torno de R\$3.000.000,00 (três milhões de reais) na usina fotovoltaica, a diferença do valor da interligação ficou em torno de 15%, diferença significativa.

Com este estudo, foi possível alcançar uma melhor compreensão das duas formas de conexão de usinas fotovoltaicas de micro ou minigeração na rede de uma concessionária, Baixa e Média Tensão. Como podem e devem aparecer casos semelhantes, importante que os profissionais envolvidos saibam que deverão ser feitos estudos para conexão, contribuindo para que a energia solar se torne mais significativa na matriz energética brasileira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MAMEDE FILHO, JOÃO **INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS**, Rio de Janeiro, 9ª edição, Editora LTC, 2017.
- MAMEDE, DANIEL **ESTUDOS DE CONEXÃO PARA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**, Capítulo VII, fascículo revista O SETOR ELÉTRICO, 2021.
- COTRIM, ADEMARO A. M. B. **INSTALAÇÕES ELÉTRICAS**. 5ª ed. São Paulo: Editora Prentice Hall, 2009.
- Norma Técnica NTC 903100: **FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA EM TENSÃO PRIMÁRIA**, Curitiba: COPEL, 2018.

Norma Técnica NTC 905200: **ACESSO DE MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA AO SISTEMA DA COPEL (com compensação de energia)**, Curitiba: COPEL, 2023.

Norma Técnica ABNT 5410:2004: **INSTALAÇÕES ELÉTRICAS EM BAIXA TENSÃO**, Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

Norma Técnica ABNT 14039:2014: **INSTALAÇÕES ELÉTRICAS EM MÉDIA TENSÃO**, Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

Agência Nacional De Energia Elétrica – ANEEL, 2022. Resolução nº 1.000 de 7 de dezembro de 2021.

Agência Nacional De Energia Elétrica – ANEEL, 2023. Resolução nº 1.059 de 7 de fevereiro de 2023.

COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.